

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2012

Bc. ZUZANA KAŠPÁRKOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: N3108 Produktový management

Studijní obor: Produktový management – Textil

**VÝBĚR VHODNÉHO PROVEDENÍ LEPENÉHO
SPOJE SENDVIČE HASIČSKÉ RUKAVICE**

**APPROPRIATE SELECTION OF THE FIREMAN'S
GLOVE SANDWICH GLUED JOINT**

Bc. Zuzana Kašpárková

KHT-151

Vedoucí diplomové práce: Ing. Hana Ivanišová

Konzultant: Ing.Bc. Ondřej Novák PhD.

Rozsah práce:

Počet stran textu ...56

Počet obrázků32

Počet tabulek12

Počet grafů.....6

Počet stran příloh...3

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Zuzana Kašpárková**
Osobní číslo: **T09000158**
Studijní program: **N3108 Průmyslový management**
Studijní obor: **Produktový management - Textil**
Název tématu: **Výběr vhodného provedení lepeného spoje sendviče hasičské rukavice**
Zadávací katedra: **Katedra hodnocení textilií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zabývejte se teorií lepeného spoje, zaměřte se především na lepení porézních a vlákenných materiálů a možnosti zvýšení jejich vzájemné adheze.
2. Popište vhodná lepidla pro zamýšlený účel a navrhňte realizaci lepeného spoje membrány a podšívky s ohledem na odolnost vůči teple a kapalinám.
3. Vlastnosti realizovaných spojů experimentálně ověřte a získané výsledky diskutujte. Zohledněte také finanční náročnost realizovaného spoje v porovnání s dosavadními postupy spojování.
4. Pokuste se navrhnout i jiný postup spojování, který by zajistil podobné vlastnosti spoje.

PROHLÁŠENÍ

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucí práce Ing. Haně Ivanišové za ochotu, poskytnuté informace i materiály a hlavně trpělivost. Nemalé díky patří mému konzultantovi Ing. Ondřeji Novákovi, Ph.D. za cenné rady, pevné nervy a pomoc. Díky za ochotu a spolupráci patří i Ing. Janě Grabmüllerové, Ing. Janě Müllerové, Ph.D. a také Ing. Jiřímu Cermanovi, Ph.D., bez něhož by povrchová úprava plazmou nemohla být vyzkoušena.

V neposlední řadě patří díky celé mé rodině, příteli i spolubydlícím za jejich úžasnou podporu a pochopení.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá lepeným spojem membrány a podšívky v hasičské rukavici, protože v současné době často dochází k vytrhávání podšívky rukavice v průběhu používání. Byly provedeny zkoušky pevnosti spoje a odolnosti vůči praní na vzorcích s používanými, ale i nově zkoumanými lepidly. Jako velice efektivní se prokázalo použití tavných lepidel.

Dále byla zkoumána možnost lepení teflonové membrány a úprava jejího povrchu aplikací aktivátoru nebo působením plazmatického mikrovlnného výboje za účelem zvýšení povrchového napětí. Plazmatické působení se projevilo jako velice efektivní v narušení intaktního povrchu teflonové membrány.

KLÍČOVÁ SLOVA : rukavice, lepení, adheze, membrána, teflon, plazma

ANNOTATION

This thesis deals with the glued joints of diaphragms and linings in fire fighting glove, because recently is the lining often pulled out during use. The sandwich strength and resistance to washing tests were carried out on samples with recently used and new types of adhesives. The hot melt adhesives have been shown to be very effective.

The possibility of gluing Teflon membrane and modification of its surface to increase surface tension by activator treatment or the action of the microwave plasma discharge has been also investigating. Plasma treatment has proved to be very effective in disruption of the intact surface of the Teflon membrane.

KEY WORDS: glove, gluing, adhesion, membrane, Teflon, plasma

Obsah

1	Úvod	10
2	Spojování lepením	11
2.1	Vlastnosti lepených spojení	11
2.1.1	Adheze	11
2.1.2	Koheze	12
2.1.3	Lepivost	12
2.1.4	Povrchové napětí	12
2.1.5	Smáčivost	13
2.2	Činitelé ovlivňující kvalitu lepeného spoje	13
2.2.1	Povrch materiálu	13
2.2.1.1	Hladké materiály	13
2.2.1.2	Porézní materiály	14
2.2.2	Typ lepidla	14
2.2.2.1	Rozdělení lepidel podle původu	14
2.2.2.2	Rozdělení lepidel podle principu tuhnutí	14
2.2.3	Podmínky zpracování	15
2.2.3.1	Konstrukce lepených spojení	15
2.2.3.2	Úprava spojovaných ploch	16
2.2.3.3	Příprava lepidel	16
2.2.3.4	Způsob nanášení	16
2.2.3.5	Tlak	17
2.2.3.6	Teplota	17
2.2.3.7	Podmínky a doba tuhnutí lepidla	18
2.3	Výběr lepidla	18
2.3.1	Lepený materiál	18
2.3.2	Požadované vlastnosti spoje	18
2.3.2.1	Mechanické vlastnosti	18
2.3.2.2	Odolnost vůči vodě a vlhkosti	19
2.3.2.3	Tepelná odolnost	19
2.3.2.4	Chemická odolnost	19

3	Rešerše materiálů vhodných pro lepení hasičských rukavic	20
3.1	Spojovací materiály	20
3.1.1	Lepidla vytvrzovaná aktivátory	20
3.1.2	Lepidla vytvrzovaná aniontovou reakcí (kyanoakryláty)	21
3.1.3	Lepidla vytvrzovaná okolní vlhkostí	21
3.1.3.1	Polyuretany	21
3.1.3.2	Silikony	22
3.1.4	Lepidla vytvrzovaná teplem	22
3.2	Konstrukční materiály	23
3.2.1	Membrány	23
3.2.2	Materiály vhodné jako podšívky	24
4	Experimentální část	26
4.1	Plán experimentu	27
4.2	Příprava vzorků	27
4.3	Použitá zařízení a zkušební metody	29
4.3.1	Postup zkoušky lepeného spoje	29
4.3.2	Stanovení povrchové energie	32
4.3.3	Úprava plazmou	32
4.3.4	Postupy domácího praní a sušení	33
4.3.5	Zkouška pevnosti	33
4.4	Použité materiály	34
4.4.1	Podšívka	35
4.4.2	Membrána	36
4.4.3	Lepidla	37
4.4.3.1	Polyuretanové lepidlo (1)	38
4.4.3.2	Polyuretanové lepidlo (2)	39
4.4.3.3	Kyanoakrylátové lepidlo	39
4.4.3.4	Tavné lepidlo	40
4.4.3.5	Silikon	41
4.5	Výsledky	41
4.5.1	Stanovení povrchového napětí na membránách	41
4.5.2	Stanovení povrchového napětí na podšívkách	42

4.5.3	Hodnocení úpravy teflonu	42
4.5.4	Stanovení pevnosti spoje	43
4.5.4.1	Vliv praní a sušení na pevnost spoje	46
4.5.4.2	Vliv úpravy povrchu PTFE membrány na pevnost spoje	48
5	Diskuze výsledků.....	50
6	Závěr a doporučení	53
7	Seznam literatury a zdrojů	54
	Seznam obrázků.....	56
	Seznam grafů	57
	Seznam tabulek.....	57
	Seznam příloh.....	57

Seznam zkratek

PU – polyuretan

PU-FR – polyuretan s nehořlavou úpravou

PTFE – polytetrafluorethylen

ba - bavlna

VS – viskóza

l – délka

F – síla

Fmax . maximální síla

mm – milimetr

N – Newton

x – aritmetický průměr

s – směrodatná odchylka

s^2 - rozptyl

v – variační koeficient

IS – interval spolehlivosti

LOI - Limitní kyslíkové číslo

1 ÚVOD

Díky technickému rozvoji, který zapříčinila druhá světová válka, se začaly vyvíjet nové druhy materiálů a spolu s nimi i nové technologie. V textilním průmyslu došlo k velkému rozmachu syntetických vláken a zároveň k rozvoji nových druhů plošných textilií. S vývojem funkčních textilií a membrán již nebyly staré způsoby spojování dostačující. Bylo zapotřebí vyvinout vhodnou technologii spojování, která by materiálům zachovala jejich funkční vlastnosti jako splývavost nebo nepromokavost. Proto se začaly rozvíjet nekonvenční způsoby spojování, mezi které patří například vysokofrekvenční nebo ultrazvukové sváření. Také se začala nově rozvíjet historicky známá technologie lepení.

Lepení totiž při správném použití zajistí pevný nerozebíratelný spoj, který fyzicky nenaruší materiál. Pro kvalitní lepený spoj je důležité nalezení správného pojiva, které se s daným materiálem dobře spojí a vytváří pevný a spolehlivý spoj.

Tato práce se tedy zabývá lepenými spoji materiálů, které jsou vhodné pro hasičské rukavice. Česká společnost Holík International s.r.o., se kterou bylo spolupracováno, se od 90. let minulého století věnuje výrobě speciálních rukavic převážně pro záchranný systém ČR, kam patří policie, hasiči, vojáci a záchranáři. V práci je řešena schopnost adheze k používaným materiálům, pevnost a odolnost vzniklého spoje, jakož i postupy zlepšení adheze. Cílem této práce je navrhnout optimální způsob spojení membrány a textilie (tkaniny či pleteniny), které jsou používány ve výrobním procesu hasičské rukavice pro spojení podšívky a membrány. Velkým problémem je totiž vysouvání a vytrhávání podšívky z rukavice při běžné uživatelské manipulaci. V diplomové práci je také hledána vhodná úprava teflonové membrány pro zvýšení její adheze a následné lepitelnosti. V závěru je navržen vlastní lepící systém i vhodný postup lepení.

2 SPOJOVÁNÍ LEPENÍM

Spojování materiálů pomocí různých technologií by nebylo potřeba, kdyby se materiály přiblížené k sobě na molekulární vzdálenost spojily samy pomocí vzájemné přitažlivosti. Toho však lidstvo stále nedokáže dosáhnout, jelikož by bylo nutné mít absolutně hladké, rovné a čisté kontaktní plochy spojovaných materiálů. [8]

Spojování lepením je založeno na základě toho, že mezi povrchy tekuté a pevné látky je lepší přilnavost než mezi dvěma povrchy látek pevných. Lepidlo se dostane mezi nerovnosti lepeného materiálu (adherendu) a nahradí většinu pohlčených plynů a par z mikropórů. [8]

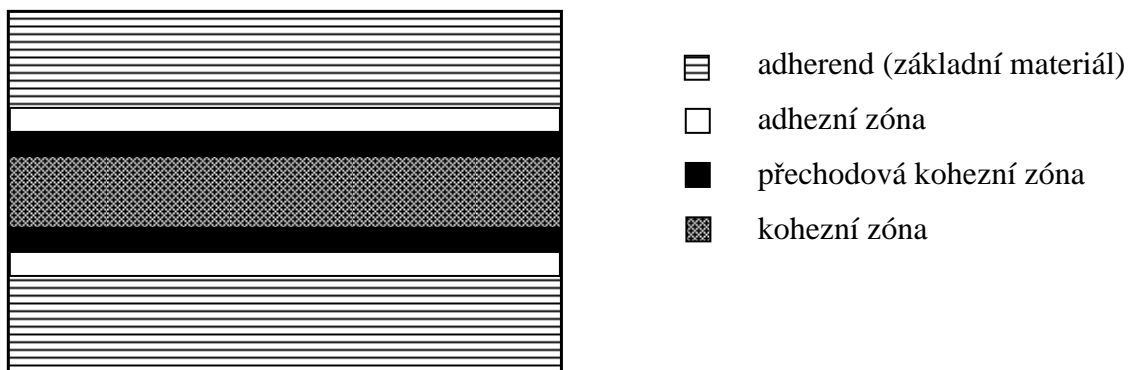
2.1 Vlastnosti lepených spojů

Lepení je způsob spojování dvou a více stejných i různých materiálů (adherendů) prostřednictvím lepidel (adheziv). Schopnost lepidla utvořit pevné a trvalé spojení materiálů závisí na mnoha vlivech, mezi ty nejdůležitější patří adheze k povrchům lepených materiálů a koheze samotného lepidla. [3]

2.1.1 Adheze

Adheze (přilnavost) je síla, jíž se dvě tělesa navzájem se dotýkající svými povrchy, přitahují. V případě lepení je to síla mezi lepidlem a materiálem. Kapaliny a pevné látky se vzájemně přitahují, tudíž bývá i značná adheze těchto skupenství. [1]

Z hlediska vnitřní struktury lze každý konstrukčně pevný a dostatečně odolný lepený spoj dvou základních materiálů považovat za komplex tří hlavních vrstev a dvou mikrovrstev (viz obr 1).



Obrázek 1 Struktura lepeného spoje

V praxi rozeznáváme *mechanické adhezní síly*, které pocházejí z mechanického uchycení (zakotvení) lepidla v nerovnostech a pórech spojovaných materiálů, a *specifické adhezní síly*, skládající se z chemických sil (např. primární chemické vazby) a fyzikálních sil (van der Waalsovy mezimolekulární síly, difuzní síly, Londonovy disperzní síly, Keesomovy elektrostatické síly, Debeyovy indukční síly, valenční adhezní síly apod.). [3]

2.1.2 Koheze

Koheze (soudržnost) je další z faktorů ovlivňující kvalitu spoje. Označuje se jako vnitřní adheze. Velikost koheze udává tzv. kohezní energie, kterou je možno vyjádřit jako energii potřebnou k oddělení částice lepidla od ostatních. Je výsledkem přitažlivých sil mezi jednotlivými molekulami lepidla. Pevnost spoje a dobré mechanické vlastnosti lepidla závisí zejména na stupni koheze. Adhezní a kohezní síly by mely být přibližně v rovnováze. [1]

2.1.3 Lepivost

Lepivost adherendu je úměrná síle, kterou je nutno vyvinout, aby se dvě slepené plochy od sebe odtrhly. Pokud je spoj správný, tak se při jeho namáhání poruší spojovaný materiál a nikoliv spoj samotný. Lepivost adheziva určuje zejména povrchové napětí (koheze na povrchu lepidla) současně s viskozitou. [1]

2.1.4 Povrchové napětí

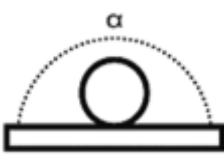
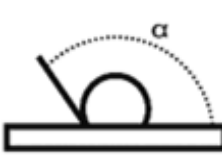
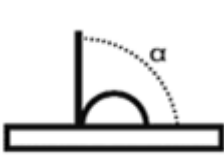


Povrchové napětí je jedním z rozhodujících kritérií pro adhezi (přilnavost) lepidel, laků, nátěrů atd. Na povrchu pevných a kapalných látek jsou složky kohezních sil, mířících z povrchu, nulové a nekompenzované. Opačné síly posouvají povrchové vrstvy dovnitř materiálu a vyrovnávají tak odpudivé síly vnitřku. Tyto povrchové vrstvy způsobují určitý virtuální tlak, který je vytvářen přitažlivými atomovými a molekulovými silami. Jejich krátký dosah určuje přibližnou tloušťku povrchové vrstvy.

Snadno spojitelné látky mají vysokou hodnotu povrchové napětí. Kdežto pro materiály s nízkým povrchovým napětím se těžce hledají vhodná adheziva. [6]

Jako obecný limit pro lepení je často v oblasti měření této povrchové energie uváděna hodnota 38 mN/m. [10]

2.1.5 Smáčivost

Smáčivost je vlastnost kapaliny přilnout k povrchu některých pevných látek. [2] Míru smáčivosti určuje velikost povrchového napětí styčných ploch. Měří se okrajovým úhlem, který se vytvoří na rozhraní vodní hladiny a pevného tělesa (tzv. kapková metoda viz tabulka 2). Čím je okrajový úhel menší, tím je lepší smáčivost. Při špatné smáčivosti je okrajový úhel velký a při přesažení 90° se smáčivost změní v odpudivost.

				
Žádná smáčivost povrchu	Minimální smáčivost povrchu	Nedostatečná smáčivost povrchu	Dostatečná smáčivost povrchu	Ideální smáčivost povrchu

Tabulka 1 Kapková metoda

2.2 Činitelé ovlivňující kvalitu lepeného spoje

Soudržnost lepeného spoje závisí na mnoha vlivech, z nichž jsou dále uvedeny ty nejdůležitější.

2.2.1 Povrch materiálu

Struktura povrchu je důležitou složkou působící na kvalitu lepeného spoje. Rozlišujeme dva základní typy povrchů a to podle struktury na porézní a hladké.

2.2.1.1 Hladké materiály

I zdánlivě hladké materiály mají mikrostrukturu povrchu byť v rozměrech objemu atomů. Tato struktura se hodnotí pomocí elektronové mikroskopie, zeslabujícího úplného obrazu (ATR metoda), rentgenová nebo neutronová difrakční metoda určuje objemovou krystalinitu. [6]

V textilním průmyslu se jedná především o nanovláknenné vrstvy, fólie nebo jiné membrány.

2.2.1.2 Porézní materiály

Struktura makroskopického povrchu u textilií je určena kvalitou délkových textilií (vlákno, příze), vazbou tkanin a pletenin a orientací vláken netkané textilie. Tyto technologické parametry určují zaplnění textilie a tím poměr vzduchu a fyzického materiálu. Hladkost, nerovnost či pórovitost povrchů se určuje profiloměry, mikroskopy apod. Všechny tyto parametry mají významný vliv na smáčivost a lepitelnost textilie. Z hloubky a tvarů povrchů lze odhadnout přibližnou pevnost adhezních spojů. [6]

2.2.2 Typ lepidla

Lepidla se vyznačují schopností navzájem spojovat dva a více materiálů. Jsou to většinou relativně složité útvary a jejich lepidivost závisí na mnoha okolnostech. Ovlivňuje ji především povaha, struktura, pórovitost a polarita povrchu lepených materiálů, doba klížení a schnutí, teplota a vlhkost, dále např. použité rozpouštědlo nebo způsob zpracování.

Už od dob starověku se používaly různé druhy klišů a škrobu jako pojivo. V období druhé světové války se rozšířil sortiment materiálů o různé druhy plastických hmot. To zapříčinilo vznik lepidel syntetických. [1]

2.2.2.1 Rozdělení lepidel podle původu

Podle původu můžeme dělit na lepidla přírodní a syntetická.

Přírodní lepidla jsou buď původu rostlinného (mouky, škroby, dextriny, pektiny, algináty, rostlinné slizy a gumy, přírodní pryskyřice, přírodní kaučuk), nebo živočišného (klišy glutinové, kaseinové, albuminové a rybí).

Mezi syntetická řadíme lepidla termoreaktivní, termoplastická a polysyntetická. [1]

2.2.2.2 Rozdělení lepidel podle principu tuhnutí

Do dvou základních skupin můžeme rozdělit adheziva podle způsobu tuhnutí na fyzikálně tuhnoucí a anaerobní lepidla (reaktivní).

Mezi fyzikálně tuhnoucí lepidla tuhnoucí vsáknutím a odpařováním rozpouštědel ve spoji řadíme rozpouštědlová lepidla disperzní, roztoková, lepidla tavná a stále lepidla.

Lepidla tuhnoucí vlivem vlhkosti prostředí, kontaktem s kovy bez přístupu vzduchu (anaerobní), tuhnoucí po přidání tvrdidel nebo zvýšenou teplotou řadíme mezi lepidla reaktivní. [3]

2.2.3 Podmínky zpracování

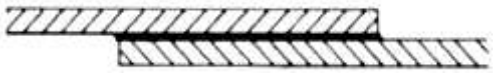




Technologii lepení lze charakterizovat, jako soubor operací, při kterých se vytváří nerozebíratelné spojení dvou stejných, či různých substrátů pomocí vybraného adheziva.

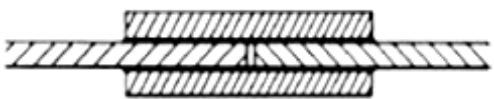

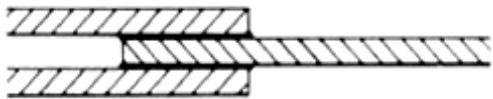

Správné podmínky pro vytvoření kvalitního lepeného spoje závisí na správnosti návrhu konstrukce spoje, správné volbě materiálu (lepidlo + adherend), povrchové úpravě adherendu, zachování předepsaného postupu použití zvoleného lepidla a vytvoření dokonalých mechanických a fyzikálně-chemických podmínek pro vznik pevných vazeb.

2.2.3.1 Konstrukce lepených spojů

Konstrukce spoje by měla být navržena tak, aby byla dostatečně pevná a odolná vůči mechanickému namáhání. Na rozdíl od mechanicko-fyzikálního spojování (sešívání, ultrazvukového svařování, nebo spojování horkým klínem a horkým vzduchem) by se vhodným lepením měla spojovací plocha zestejnoměrnit a tím i zpevnit. Několik základních způsobů spojení plošných materiálů je uvedeno (viz Tab 2).

Tabulka 2 Možnosti spoje plochého materiálu [7]

Typ lepeného spoje		Pevnostní charakteristika
Jednoduchý přeplátovaný spoj		dobrá
Zúžený přeplátovaný spoj		velmi dobrá
Seříznutý spoj		vynikající
Tupý čelní spoj		vhodné jen pro velmi silné vrstvy
Přeplátovaný spojený pásem		dostačující

Dvojitě překlátovaný spojený pásem		velmi dobrá
Dvojitě překlátovaný spoj se zúženými pásy		vynikající
Dvojitě přeložený spoj		velmi dobrá
Stupňovitě přeložený spoj		velmi dobrá

2.2.3.2 Úprava spojovaných ploch

Lepené plochy se musejí očistit, aby vznikl přímý a rovnoměrný styk lepidla s hmotou. Podle potřeby zvýšení adheze povrchu se může upravit chemickou nebo fyzikální aktivací. Případně pro zvýšení kvality spoje lze lepené materiály předem tepelně nebo klimaticky upravit. Okolí lepeného spoje je nutno chránit před znehodnocením adhezivem. [7]

2.2.3.3 Příprava lepidel

Normální pracovní teplota lepidel (15 – 25°C) se zajistí přesunutím z chladných prostor do pracovního provozu několik dní před použitím. Viskozita se upravuje buď přidáním ředidla, nebo naopak vhodného plniva pro zajištění stejnoměrného rozlivu a tloušťky nánosu. [7]

2.2.3.4 Způsob nanášení

Jednostranný spoj bývá obecně používán u reaktivních lepidel, která tuhnou v důsledku reakce v celé ploše současně. Naproti tomu rozpouštědlová, rychle schnoucí lepidla se musí nanášet na obě plochy spoje, kvůli postupujícímu tuhnutí adheziva v důsledku odpařování nebo difúze rozpouštědla do podkladu. [7]

Pro kvalitní spoj je důležitá nejen rovnoměrnost, ale i souvislost a správná tloušťka nanesené vrstvy. Zdroj [7] uvádí jako nejtenčí nános pro močovinná lepidla 0,05 – 0,10

mm a pro epoxidová lepidla minimální tloušťku 0,20 mm, kdy pro tekutá lepidla počítá spotřebu 100 až 300 g/m² plochy. [7]

Postup nanášení závisí na druhu spojovaných materiálů, na konstrukci spoje, velikosti lepeného povrchu a formě lepidla. Tekutá lepidla lze nanášet ručně i vhodným nanášecím zařízením. Při ručním lepení se používá normální nebo pneumaticky plněný štětec, ruční válečkové nanášecí zařízení, hladké i rýhované stěrky, pístové nanášecí zřízení nebo stříkací pistole. Kontinuální nanášení na velké plochy zajišťují mechanická zařízení např. válcové, segmentové, raklové, štěrbinové nebo clonové nanášecí stroje. [7]

Pevnost lepeného spoje také závisí na velikosti plochy. Většinou se spojují celoplošně největší možné části. Z hlediska použití je někdy nutné spojit plochu pouze v určitých bodech a to převážně u ohebných materiálů, kde je nutná dostatečná pružnost, prodyšnost a ohebnost materiálu.

2.2.3.5 Tlak

Při fixaci lepených ploch napomáhá působení tlaku proti posunutí či odchlípnutí materiálů a přispívá ke stejnoměrnému rozvrstvení lepidla po celé ploše spoje, jako i k vyrovnaní menších nerovností podkladu. Lepidlo pod mírným tlakem lépe proniká do povrchových pórů materiálu. Tento tlak však nesmí být příliš velký, mohlo by dojít k vytlačení lepidla a tím ke ztenčení vrstvy a nesoudržnému spoji, případně k prokreslení struktury podkladu na povrch krycího materiálu. Může také vzniknout pnutí v termoplastických hmotách a dojít ke zhoršení optických vlastností, rozměrové stálosti apod. Při nedostatečném zatížení může dojít k nerovnoměrnému rozvrstvení a vzniklý spoj může být pevnostně nespolehlivý. Pod tlakem musí zůstat materiál tak dlouho, dokud koheze lepidla nedosáhne dostatečného stupně pro spojení. Pro plastické hmoty se používá zatížení nízkým tlakem 3,4 až 51 MPa. [7]

2.2.3.6 Teplota

Kvalita nánosu lepidla je ovlivněna teplem stejně jako časový průběh tuhnutí. U termoreaktivních lepidel platí, že s rostoucí teplotou roste i rychlost tvrzení zhruba exponenciálně. Naopak nízká teplota u těchto lepidel vytvrzování brzdí. Lepidla s termoplastickými polymery za horka měknou, nesmí se však překročit hranice tepelné odolnosti spojovaných hmot. V praxi se lepí za normální teploty (za studena) a to při teplotě místnosti (15 až 20 °C), za zvýšené teploty (25 až 100°C) nebo tzv. za horka, pokud teplota přesáhne 100°C. [7]

2.2.3.7 Podmínky a doba tuhnutí lepidla

Tuhnutí lepidla závisí na jeho složení, pórovitosti lepených ploch a teplotě okolí. [7]

Reaktivní lepidla tuhnou díky chemické reakci vyvolané přidavkem tvrdícího katalyzátoru, účinku vzdušné vlhkosti nebo limitovaného zvýšení tvrdící teploty, případně kombinací všech faktorů. Reagují většinou rychleji při zvýšené teplotě nebo obsahu tvrdidla a naopak. Obsah ředidel a inaktivních plniv v lepidle reakci většinu zpomaluje. Ještě větší zpomalení tvrdnutí u reaktivních lepidel způsobuje teplota pod $+10^{\circ}\text{C}$. [7]

Nereaktivní lepidla, jako jsou roztoky a disperze termoplastických polymerů, závisejí při tuhnutí na předběžném odpaření rozpouštědla ve fázi otevřeného sestavení spoje a vsáknutí zbytku rozpouštědla do pórovitého podkladu. Tavná lepidla tuhnou ochlazením pod teplotu tání, proto se doporučuje lepené plochy předehtřívát, aby lepidlo neztuhlo předčasně. [7]

2.3 Výběr lepidla

Volba lepidla je důležitým krokem pro soudržnost lepeného spoje. Závisí na druhu lepeného materiálu, požadovaných vlastnostech spoje a provozních předpokladech.

2.3.1 Lepený materiál

Základem je zjistit vlastnosti lepených materiálů, jejich strukturu, složení a propustnost plynů. Tyto informace jsou důležité pro výběr lepidla z hlediska adheze, koheze a tuhnutí lepidla ve spoji. Další vlastnosti lepených materiálů jsou tepelná stálost, roztažnost a rozpustnost v organických rozpouštědlech. Pokud tyto vlastnosti neznáme, musíme je zjistit, aby bylo vybráno nejvhodnější lepidlo pro kvalitní lepený spoj [5], [7].

2.3.2 Požadované vlastnosti spoje

Při výběru lepidla se také musí dbát na vlastnosti, které bude mít lepený spoj v provozu - mechanické vlastnosti, tepelná odolnost, odolnost vůči vodě a vlhkosti a chemická odolnost. Pokud nelze dosáhnout všech těchto vlastností, je třeba zvážit, jaké jsou nejdůležitější a podle těchto lepidlo zvolit [5].

2.3.2.1 Mechanické vlastnosti

Lepený spoj může být zatěžován buď staticky, nebo dynamicky. Kvalita lepeného spoje při statickém namáhání se definuje jako minimální pevnost v tahu, ve smyku a v

odlupování. Tyto zkoušky se provádějí na normovaných zkušebních tělesech. Zkušební tělesa jsou z materiálů a lepidla, které budou následně použity v praxi.

Hodnocení dynamicky namáhaných spojů je obtížnější, protože toto namáhání je těžko definovatelné. Převážně se jedná o amplitudově i časově nepravidelné namáhání. Nahrát toto namáhání zkušební metodou je vždy velmi komplikované. Tyto spoje se velmi často nacházejí v leteckém a automobilovém průmyslu. [5]

2.3.2.2 Odolnost vůči vodě a vlhkosti

Lepidla můžeme rozdělit do tří skupin odolnosti proti vodě a vlhkosti. První skupinou jsou lepidla neodolná. Mezi tuto skupinu patří lepidla škrobová, glutinová a většina organických lepidel. V druhé skupině jsou lepidla, která mají omezenou nebo dočasnou odolnost proti vodě a vlhkosti. To jsou lepidla polyvinylacetátová, kaseinová a lepidla u močovinoformaldehydových pryskyřic. V poslední skupině jsou zařazena lepidla polyuretanová, samovulkanizující ze syntetických látek, fenolická, fenol-rezorcinolová, melamin formaldehydová a roztoková lepidla na bázi polymethylmethakrylátu a polybutylmethakrylátu, polystyrenu a chlorovaného PVC.

Tato lepidla dobře odolávají vodě a vlhkosti. [5]

2.3.2.3 Tepelná odolnost

Tepelná odolnost je definována minimální a maximální teplotou, časovým průběhem namáhání a spodními hodnotami mechanických vlastností za určitých podmínek.

Pro spoje, pracující za zvýšené teploty, jsou vhodná lepidla fenolická, polyuretanová a epoxidová. Tato lepidla odolávají teplotě až do 150°C. Teplotám od 250 °C do 350 °C odolávají polyimidová a polybenzimidazolová lepidla, která patří mezi teplotně nejodolnější. Teplotní odolnost lze zvýšit použitím minerálních plniv a kovových prachů. [5]

2.3.2.4 Chemická odolnost

Před aplikací lepidla je důležité zjistit, zda chemické složení lepidla neovlivní spoj agresivními výpary nebo kapalinami, které mohou difundovat do lepeného materiálu, nebo přes okraj spáry. Proto vždy vybíráme lepidla, která chemicky neovlivní lepený spoj. [5]

3 REŠERŠE MATERIÁLŮ VHODNÝCH PRO LEPENÍ HASIČSKÝCH RUKAVIC

Pro hasičské rukavice je nutné použití kvalitních funkčních materiálů, aby výsledný výrobek dosahoval požadované kvality. U tohoto funkčního zboží je kladem důraz na kvalitu, protože ochranné oděvy pomáhají chránit lidské zdraví při nebezpečných podmínkách.

3.1 Spojovací materiály

Lepidel je mnoho druhů a pro spojení textilních materiálů je nutné vybírat viskózní druhy, aby nenarušily strukturu a ohebnost materiálu. Při zaměření na hasičské rukavice je nutné se zaměřit i na lepidla odolná vůči vodě a vyšším teplotám.

3.1.1 Lepidla vytvrzovaná aktivátory

Lepidla vytvrzovaná aniontovou reakcí se používají především pro lepení kovů s plasty, kovů s kovy nebo jinými materiály a obtížně lepitelných plastů. K vytvrzení těchto lepidel dochází vždy po smíchání lepidla a aktivátoru. Vytvrzování probíhá za pokojové teploty. Ke smíchání lepidla a aktivátoru může dojít dvěma způsoby. Prvním způsobem je, že se nanese lepidlo i aktivátor na oba povrchy lepených materiálů tak, aby se nesmísily. Ke smíšení dojde až po spojení adherendů a začíná vytvrzování. Druhým způsobem je směšování lepidla a aktivátoru před nanesením na lepený povrch. Volba způsobu směšování závisí na typu lepidla.

Pokud nelze použít aktivátor kapalný, lze použít lepidla s aktivátorem, který má stejnou konsistenci jako lepidlo. Jedná se o dvousložková lepidla. Lepidlo a aktivátor se nanášejí odděleně pruh vedle pruhu, nebo pruh na pruh. K vytvrzování dochází po spojení obou lepených povrchů, kdy se obě komponenty navzájem smísí. Je-li doba zpracovatelnosti smíšeného lepidla delší jak 5 minut, mohou se obě složky smísit před nanesením. Výhodou je dokonalejší promísení směsi. Mezi vlastnosti lepidel vytvrzovaných aktivátory patří velmi vysoká pevnost ve smyku a v tahu, dobrá rázová odolnost (houževnatost), rozsah provozních teplot od -55 °C do 120 °C, dobrá odolnost proti prostředí a téměř dobrá schopnost vyplnit spáru (obzvláště předem smíšené směsi) univerzální lepidlo. Lepidla vytvrzovaná aktivátory se používají především pro konstrukční lepení.

3.1.2 Lepidla vytvrzovaná aniontovou reakcí (kyanoakryláty)

Lepidla vytvrzovaná aniontovou reakcí polymerují ve styku se slabě alkalickými povrchy. Vytvrzení, ke kterému postačuje okolní vlhkost vzduchu a vlhkost na povrchu lepeného materiálu, proběhne během krátké doby (řádově v sekundách). Polymerace nastává od povrchu k povrchu, protože vlhkost na povrchu adherendu neutralizuje stabilizátor v lepidle. Nejkratší doba vytvrzení na manipulační pevnost nastává při nulové tloušťce filmu lepidla. Vlhkost vhodná pro dosažení kvalitního spoje je v rozmezí 40 až 60 % při pokojové teplotě. Nižší vlhkost vede k prodloužení vytvrzování, vyšší naopak vytvrzování zrychluje, ale může dojít ke zhoršení pevnosti spoje. Vzduch o vlhkosti pod 40 % pevnost lepeného spoje nezhoršuje, ale protahuje dobu vytvrzení a tím i výrobu. Vliv na dobu vytvrzení má i kyselost ($\text{pH} < 7$) a zásaditost ($\text{pH} > 7$). Kyselé povrchy vytvrzování zpomalují, nebo mu mohou i zabránit. Naopak zásadité povrchy vytvrzování zrychlují.

Materiály po nanesení kyanoakrylátového lepidla musíme rychle spojit, protože polymerace začíná během několika málo vteřin. Doba vytvrzení je závislá na okolní vlhkosti, vlhkosti povrchu adherendu, typu lepidla a teplotě okolí. Vzhledem k velmi krátké době vytvrzení je vhodné tato lepidla použít pro lepení malých součástí.

Lepidla vytvrzovaná aniontovou reakcí nanášíme pouze na jeden povrch. Nejlepší spoj dostaneme, když se nanese pouze tolik lepidla, kolik je ho potřeba pro vyplnění spojovací spáry.

U kyanoakrylátových lepidel se může použít také aktivátor. Ten je vhodný v případech, kdy není relativní vlhkost v intervalu 40 až 60%, nebo pro zrychlení vytvrzení lepidla. Vlastnosti lepidel vytvrzovaných aniontovou reakcí jsou velmi vysoká pevnost ve smyku a v tahu, velmi krátká doba vytvrzení (řádově v sekundách), téměř univerzální lepidlo a dobrá odolnost proti stárnutí. [11]

3.1.3 Lepidla vytvrzovaná okolní vlhkostí

Tato skupina lepidel se vytvrzuje vlivem reakce s okolní vlhkostí. Tato lepidla se dělí do dvou základních skupin – silikony a polyuretany.

3.1.3.1 Polyuretany

Doba vytvrzování u polyuretanů je stejně jako u silikonů závislá na relativní vlhkosti okolí. Vytvrzování nastává reakcí vody s chemickou přísadou, která obsahuje izokyanátové skupiny. Stejně jako u silikonů musí voda vniknout mezi molekuly lepidla,

aby nastala polymerace. Oproti vytvrzování silikonů, nedochází u vytvrzování polyuretanů ke vzniku vedlejšího produktu. Pro dokonalou přilnavost mezi povrchem adherendu a polyuretanem je vhodné použití primerů. Mezi základní vlastnosti polyuretanových lepidel můžeme zařadit pružnost a vysoké prodloužení, vynikající houževnatost, vyplnění spáry a chemická odolnost. Po vytvrzení lze polyuretany natírat. [11]

3.1.3.2 Silikony

Silikony reagují za pokojové teploty s okolní vlhkostí. Oproti aniontové reakci u kyanoakrylátů, kde vlhkost neutralizuje stabilizátor v lepidle, silikony využívají přímo vody k polymerickému zesítní. Proto musí vlhkost vniknout až do místa, kde má dojít k vytvrzení. V okamžiku, kdy při reakci vnikne molekula vody mezi zesítněné molekuly silikonu, začne se uvolňovat vedlejší produkt. Uvolněný vedlejší produkt může být v závislosti na chemii vytvrzování kyselý (kyselina octová), neutrální (oxin nebo alkohol) nebo zásaditý (amin). Silikonová lepidla se vytvrzují od vnějšího povrchu směrem dovnitř na ploše spoje. Hloubka vytvrzení je omezena na 10 – 15 mm. Důvodem je, že se vlhkost do větší hloubky přes vytvrzený silikon nedostane. Mezi hlavní vlastnosti silikonových lepidel patří pružnost, houževnatost, vysoké prodloužení, tepelná odolnost vyšší než 230 °C, nízký až střední modul, těsnění různých médií, vynikající vyplnění spáry.

Silikony se používají např. pro těsnění ploch v automobilovém průmyslu, těsnění pro vysokoteplotní aplikace a lepení a těsnění zvláště u malých částí. [11]

3.1.4 Lepidla vytvrzovaná teplem

Mezi tuto skupinu lepidel patří především jednosložková lepidla, která vytvrzují za zvýšených teplot. Většinou se jedná o epoxidová lepidla, která se vytvrzují za teplot přesahujících 100 °C.

Teplota vytvrzování je závislá na druhu lepidla. Lze říci, že čím je teplota vytvrzování vyšší, tím proběhne vytvrzení rychleji (viz obr. 4.15). Každý typ lepidla má určitou minimální teplotu, kdy dochází k aktivaci tvrdidla a začíná polymerace. [11]

3.2 Konstrukční materiály

Textilní materiály vhodné pro použití k výrobě hasičských rukavic.

3.2.1 Membrány

Membrána je tenká vrstva polymerního materiálu od 0,2 mm do 10 μ m zajišťující nepromokavost a větruvzdornost. Membránu tvoří i velmi jemný a tenký film vzdáleně podobný mikrotenovému sáčku, který se často spojuje tzv. laminací s vrchním či vnitřním textilním materiálem. Její prodyšnost se liší v závislosti na druhu membrány. Mezi základní druhy používaných membrán se řadí PU-membrána (polyuretanová), PES-membrána (polyesterová) a PTFE-membrána (teflonová). [12]

Membrány lze také rozdělit na mikroporézní a hydrofilní. [12]

Mikroporézní membrány mají mikroskopické póry, kterými projde vzduch i vodní pára. Tyto membrány mají nízkou povrchovou energii, což zajišťuje špatnou nasákavost a nepropustnost vody, a tím i špatnou adhezi vůči lepidlům. Větruodolnost zajišťují náhodné a chaoticky rozmístěné lomené dráhy. Jako nejčastější materiály se používá polytetrafluoretylen a ostatní fluoropolymerní materiály. Mezi tento typ membrán patří Goretex, Paclite, Windstopper a Dermizax. [12]

Sympatex a Gelanots jsou obchodní názvy pro hydrofilní membránu, která nemá žádné póry. [12]

Membrána spojená s textilním materiálem tvoří tzv. laminát, a to 2-vrstvý v případě, že jde o spojení membrány s vrchním (vnějším) či vnitřním (často podšívkovým) materiálem, nebo 3-vrstvý v případě, že je membrána spojena do jednoho materiálu jak s vnějším, tak i s vnitřním vrstvou. Laminát má co do nepromokavosti a větruvzdornosti podstatně lepší vlastnosti, než samostatná membrána. Prodyšnost laminátu se liší v závislosti na použitých materiálech a membránách, vždy je však horší, než u samostatné membrány. Membránu však není možné používat samostatně a záleží tedy na výběru materiálu s ní spojených. Životnost mnohých laminátů je při správné údržbě několiknásobně delší, než zátěrů.)

Jemná funkční netkaná textilie, případně i nanotextilie zajišťující nepromokavost a větruvzdornost. Membránu tvoří i velmi jemný a tenký film vzdáleně podobný mikrotenovému sáčku, který se často spojuje tzv. laminací s vrchním či vnitřním textilním materiálem. Její prodyšnost se liší v závislosti na druhu membrány. Mezi základní druhy

používaných membrán se řadí PU-membrána (polyuretanová), PES-membrána (polyesterová) a PTFE-membrána (teflonová).

Polytetrafluorethylen je velmi odolný materiál vůči vysokým teplotám. Jeho limitní kyslíkové číslo se pohybuje mezi 95 – 98 obj.%O². Pevnost 1,4 cN/tex, tažnost 20% a tepelná degradace 290°C. Je odpudivý vůči kapalinám. To má za následek s jeho nízkým povrchovým napětím velmi špatnou lepitelnou.

3.2.2 Materiály vhodné jako podšívky

Materiály poskytnuté firmou Holík International s.r.o. pro použití jako podšívka do rukavic jsou níže uvedeny spolu se základními vlastnostmi.

Kevlar je aromatický polyamid (P-aramid), u kterého se doplňuje lehkost s extrémně vysokou pevností. Tento materiál se samozhášecími vlastnostmi má dobrou chemickou stabilitu a netaví se, jedinou nevýhodou je nízká odolnost vůči UV záření. Používá se pro neprůstřelné vesty, rukavice a také kompozity pro letecký průmysl. [4]

Nomex je aromatický polyamid (M-aramid) s vysokou tepelnou odolností. Nehořlavost je stálá a praním se nemění, protože není získaná chemickou apretací, ale inherentní vlastností Nomexu. Má elektrické izolační schopnosti, rozměrovou stabilitu a vysokou pevnost v tahu i při vysokých teplotách. Stejně jako Kevlar je citlivý vůči UV záření. Nomex se používá na ochranné oděvy, filtrace, elektroizolace nebo třeba do výbavy dopravních prostředků (do letadel). [4]

Modakryl je forma polyakrylnitrilu. Obsahuje nejméně 50 (v Americe 35) a nejvýš 85 % akrylonitrilu. Při výrobě tohoto vlákna obsahuje roztok 20-50 % vinylchloridu, čímž se má především snížit hořlavost výsledného vlákna.

Bavlna je přírodní rostlinné vlákno ze semene. Má příjemný omak a může nasát značné množství vlhkosti, například potu. Dobrá pevnost v tahu a v oděru se za mokra asi o 20 % zvyšuje. Proto se používá zejména na výrobky, které jsou v tom směru namáhány a musí se často prát.

Viskóza z regenerované celulózy, tj. z přírodního polymeru, dosahuje v suchém stavu jen asi 80-90% pevnosti bavlny a za mokra klesá na polovinu vlastní hodnoty. Avšak modifikované druhy viskózy se oproti bavlně vyrábí až s dvojnásobnou pevností, která klesá v mokrému stavu jen asi o 25%. Viskóza má příjemný omak, dobrou savost a nemačkovost, ale při vyšších teplotách se snadno sráží a není odolná proti biologickým vlivům.

Elastan je polymer s obsahem nejméně 85% segmentovaného polyuretanu. Elastická vlákna mají nízkou pevnost v oděru. V zátažných pleteninách se musí elastická nit vždy zaplétat společně s neelastickou (krytá pletenina) nebo s vloženou elastickou nití.

Vlastnost/jednotka	Nomex	Kevlar	Modakryl	Bavlna	Viskóza	Elastan
Pevnost/ cN/dtex	4,9	20		2.7 – 4.3	2 – 3	
Tažnost/%	35	4		3 – 10	15 - 30	3 – 10
Teplota degradace/°C	415	520				
LOI/obj.%O ²	30	28	33	17 – 19	17 – 19	

Pro vyjádření hořlavosti se používá veličina *LOI*, která odpovídá množství kyslíku (v procentech) ve směsi s dusíkem potřebného k hoření. Nehořlavá vlákna mají *LOI*=26 a vyšší. [4]

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato část práce je zaměřena na lepení vybraných materiálů, zjištění pevnosti lepeného spoje těchto materiálů a jeho odolnosti vůči praní. Dále je provedena úprava povrchu teflonové membrány s cílem zvýšení adheze.

Realizovaný lepený spoj je prakticky použit ve spoji podšívky a membrány rukavice. Hasičská rukavice je většinou složena ze čtyř funkčních vrstev speciálních materiálů, které jsou spojené šitým švem. Pouze podšívka (4) a membrána (3) rukavice (viz obr 2) je v koncích prstů spojena lepidlem, aby se nepoškodila membrána vpichem jehly a zároveň byla připevněna proti vytažení podšívky spolu s rukou uživatele.

Pro hasičskou rukavici se používá jako svrchní ochranná vrstva (1) termostabilní kůže, nomex, kevlar nebo PBI. Druhou vrstvu (2) tvoří další materiál s vysokou odolností vůči teple, jako je aramidová textilie. Pod ní se nachází membrána Porelle, PU, PTFE (3), chránící uživatele před vlhkostí. Nejspodnější vrstvu tvoří podšívka, která má za účel nejen chránit uživatele před vnějšími vlivy, ale měla by mít i dobré uživatelské vlastnosti, jako je omak nebo nasákavost. Jsou voleny různé materiály pro konkrétní účely od bavlny až po kevlar.



Obrázek 2 Sendvič hasičské rukavice [9]

4.1 Plán experimentu

Nejprve budou připraveny vzorky, jejichž spoje budou vytvořeny pomocí navržených lepidel na různých podšívkách a membránách. Vzorky s polyuretanovou membránou budou vyprány a následně usušeny dvěma různými způsoby dle ČSN EN ISO 6330. Tyto vzorky budou podrobeny zkouškám v pevnosti lepeného spoje a bude posouzen vliv praní a sušení. Dále bude provedena úprava povrchu teflonové membrány aktivátorem a plazmou za účelem zvýšení povrchového napětí a tím i lepší lepitelnosti. Vliv plazmy bude taktéž posouzen pomocí stanovení pevnosti lepeného spoje a orientační zkouškou povrchové energie. Všechny vzorky po zkoušce pevnosti budou dle normy ČSN ISO 10365 vyhodnoceny podle typu porušení.

4.2 Příprava vzorků

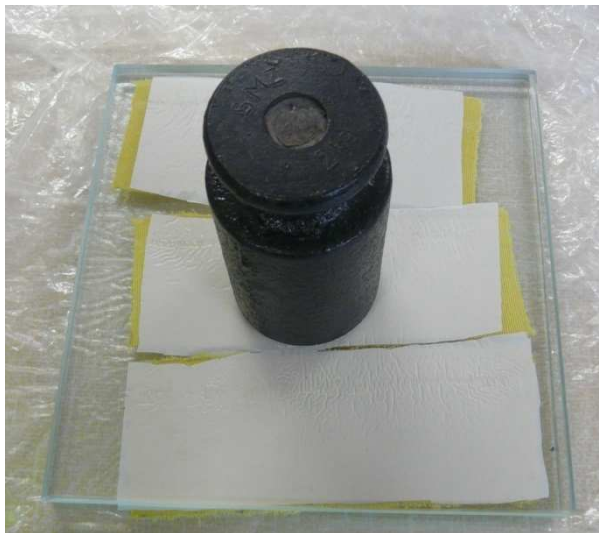
Nejdříve byl připraven pracovní prostor se všemi potřebnými pomůckami. Bylo namícháno lepidlo (v případě dvousložkového adheziva). Materiály byly předem nastříhány na rozměr 5x15 cm a po nanesení a zaschnutí lepidla byly rozděleny na pět stejných vzorků, které byly podrobeny tahové pevnostní zkoušce dle ČSN EN ISO 13934-1. Odchylnou od zmíněné normy byla menší velikost vzorků z důvodu omezeného množství materiálu.

Po očištění materiálu lepícím válečkem od hrubých nečistot byly očištěny membrány etanolem. Vzorky membrány byly posléze natřeny aktivátorem a byla na ně nanesena rovnoměrně tenká vrstva lepidla. Lepidlo bylo v průběhu nanášení váženo na analytických vahách (viz obr 3), aby bylo na vzorcích přibližně stejné množství adheziva.



Obrázek 3 Nanášení lepidla na analytických vahách

Po okamžitém připojení druhého adherendu se nově vzniklý vzorek vložil mezi dvě laboratorní skla (viz obr 4), kde setrval přibližně 20 minut pod tlakem 0,5 KPa. Poté se slepené vzorky nechaly min. 24 hodin na vzduchu doschnout.



Obrázek 4 Fixace nově vzniklého spoje

V případě lepení tavnou pistolí byla použita tlustší izolační podložka (3cm tlustá polystyrenová deska) pro zajištění teplotní stálosti (viz obr 5).



Obrázek 5 Lepení tavnou pistolí na položce

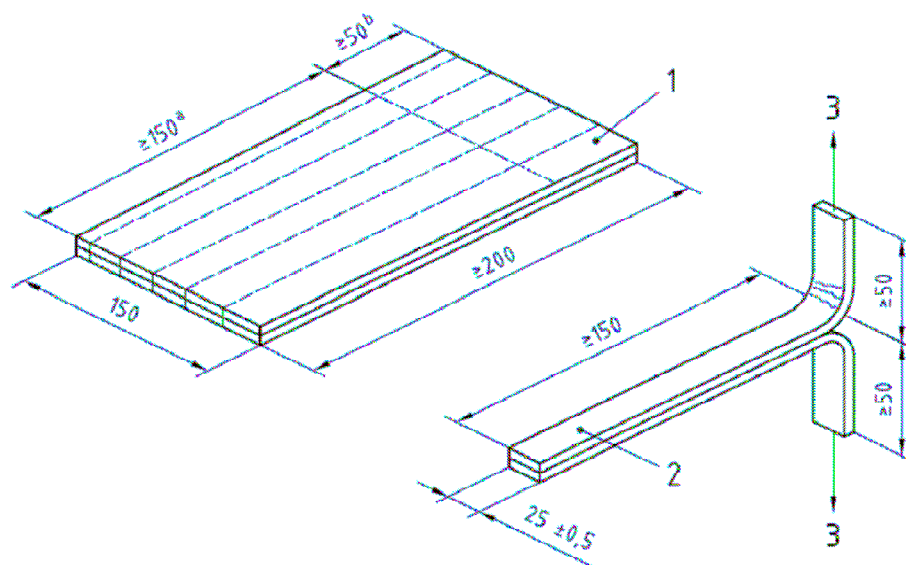
4.3 Použitá zařízení a zkušební metody

Pro experimentální část diplomové práce byla využita zařízení na Technické univerzitě v Liberci. Úprava plazmou teflonové membrány byla provedena společností Surface Treat a.s.

4.3.1 Postup zkoušky lepeného spoje

Lepení vzorků a vyhodnocení porušení spoje bylo provedeno podle dále uvedených norem s odchylkou velikosti lepeného spoje.

T-zkouška v odlupování lepených sestav z ohebných adherendů dle ČSN EN ISO 11339



Obrázek 6 Vzorky na T-zkoušku v odlupování dle normy 11339

Zkouška probíhá na trhacím stroji, který zajistí kontinuální posun jedné čelisti a tím potřebný kontrolovaný tah. Na zkušební vzorek tak působí rovnoměrná síla kolmá na slepenou plochu. Pevností v odlupování se rozumí síla v $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$, potřebná k oddělení dvou slepených ploch, jak je možné vidět na obrázku 6. [15]

Zkouška v odlupování zkoušeného tělesa z ohebného a tuhého adherendu dle normy ČSN EN ISO 8510-1:1990 Odlupování pod úhlem 90 stupňů

Vychází z mezinárodní normy ČSN EN ISO 11339. [16]

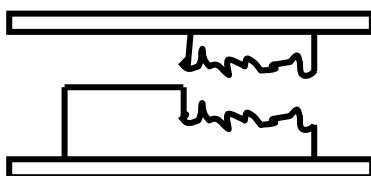
Označení hlavních typů porušení lepeného spoje dle normy ČSN ISO 10365

Označování typu porušení lepeného spoje se používá při klasifikaci typu porušení za účelem lepšího posouzení výsledku mechanické zkoušky adheze lepeného spoje, který je obvykle vyjádřen kvantitativně naměřenou hodnotou.

Adhezní porušení je prasknutí lepeného spoje, které se projeví oddělením na rozhraní lepidla a adherendu. [17]

Kohezní porušení se naopak zjevně projeví buď v lepidle, nebo v adherendu.

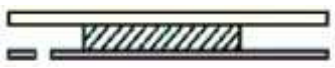


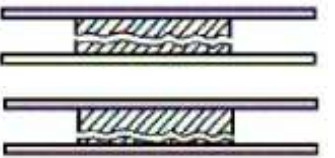

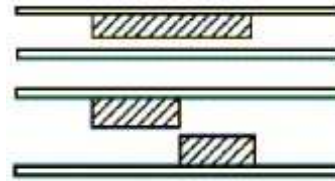
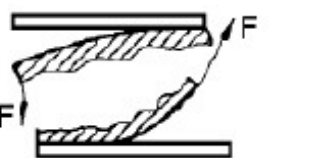
V případě střídavého porušení složeného ze dvou typů porušení se za procentuální vyjádření typů porušení uvádí označení „OCS“ (viz obr 7).



AF (50%) + CF (50%), OCS

Obrázek 7 Střídavé porušení složené ze dvou typů [17]

Tabulka 3 Typy porušení lepených spojů dle ČSN ISO 10365

	Typy porušení	Označení
Substrát	 Porušení jednoho, nebo více adherendů	SF
	 Porušení jednoho adherendu	CSF
	 Porušení deliminační	DF
Lepidlo	 Kohezní porušení	CF
	 Speciální kohezní porušení	SCF
	 Adhezní porušení	AF
	 Adhezní a kohezní porušení	ACFP

4.3.2 Stanovení povrchové energie

Pro zjištění povrchového napětí membrán byly použity *testovací značkovače* (viz obr. 8) firmy ARCOTEST GmbH. Pro danou hodnotu povrchového napětí je stanoven příslušný inkoust. Jedná se o velmi jednoduchou, přesnou a rychlou metodu. Výsledky mohou být okamžitě vyhodnoceny. Přesnost měření je ± 1 mN/m. [10]

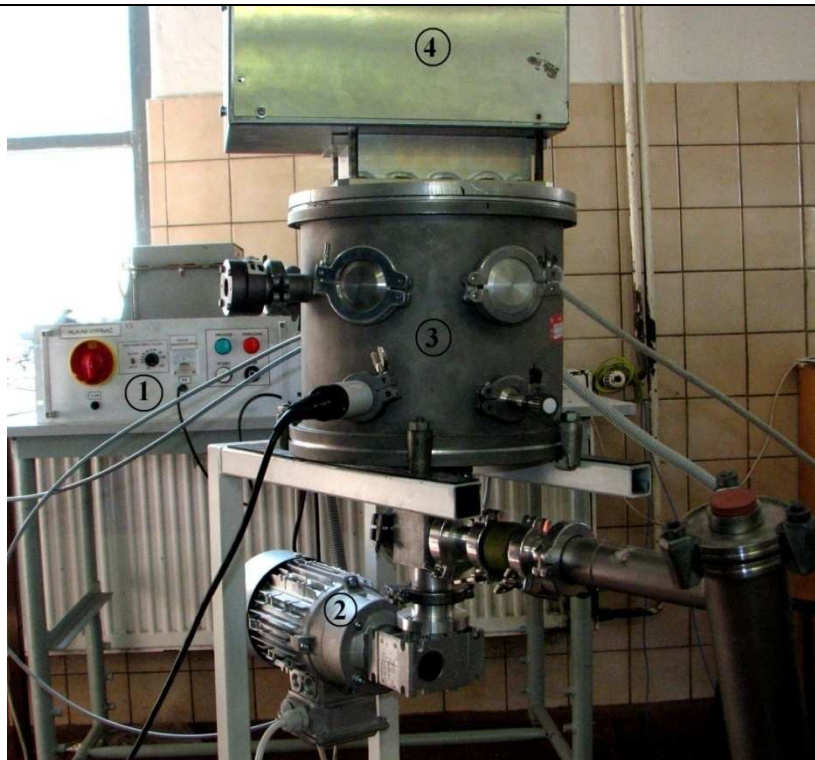


Obrázek 8 Testovací fixy pro povrchové napětí

Dále byl proveden pokus měření smáčivosti podšívek *kapkovou metodou*. Při této zkoušce byla nanесena na očištěnou vodorovně položenou textilií kapička vody a měřena doba vsáknutí. Vzorky s nižší nasákavostí byly vyfotografovány a byl stanoven přibližný úhel smáčení.

4.3.3 Úprava plazmou

Na teflonové membráně byla provedena plazmová modifikace mikrovlnným výbojem v laboratorní aparatuře společnosti Surface Treat a.s. viz **obr. XXX**. Kdy (1) je zdroj s ovládacím panelem, (2) motor, (3) recipient, uvnitř kterého dochází k samotné modifikaci a (4) hlava uvnitř s magnetronem, který zastává funkci zdroje mikrovln. Konkrétní podmínky modifikace jsou výrobním tajemstvím společnosti.



Obrázek 9 Plazmová komora

4.3.4 Postupy domácího praní a sušení

Všechny vzorky s lepeným spojem na polyuretanové vrstvě membrány byly podrobeny práci zkoušce podle normy ČSN EN ISO 6330 *Postupy domácího praní a sušení pro zkoušení textilií* [18] na průmyslové pračce **Miele PROFESSIONAL W 6071**. Prací program byl nastaven na 4 minuty hlavního praní při 60°C a 300 otáčkách za minutu. Délka 1. máchání při 500ot./min. trvala přibližně 6 minut a 2. máchání při 800ot./min. působilo cca 5 minut. Vzorky prodělaly 10 cyklů praní.

Mezi každým cyklem praní byly vzorky usušeny za stálých podmínek při pokojové teplotě ve svislé poloze dle normy ČSN EN ISO 6330. Bylo provedeno porovnání vlivu sušení přirozeného sušení a mechanizovaného sušení v sušičce **Miele**. Program byl zvolen na přednastavený Outdoor do maximální teploty 60°C, trvající přibližně 70 minut.

4.3.5 Zkouška pevnosti

Všechny vzniklé varianty vzorků lepených spojů byly podrobeny zkoušce pevnosti na trhačce **Labtest** (viz obr 10, 11) podle ČSN EN ISO 11339 pro lepené spoje.

Přístroj je ovladatelný přes připojený počítač se speciálním programem Labtest, lze jej obsluhovat také přímo z ovládacího panelu stroje. Do upínacích čelistí je nutno ručně vložit vzorek a upevnit dotažením upevňovacích šroubů.

**Obrázek 10** Trhačka Labtest**Obrázek 11** Ovládací panel trhačky

Šířka vzorků byla oproti normě upravena na 30 mm. Tento rozměr byl zvolen z důvodu omezeného množství zkušebního materiálu a zároveň postačující velikosti spoje.

Výsledné hodnoty zkoušek jsou přiložené v tabulkách v příloze 2. V závěrečné části jsou zpracovány již průměrné hodnoty z provedených pěti měření.

Parametry lepených vzorků:

Šířka vzorku: 30 mm

Upínací délka: 60mm (rozpětí mezi čelistmi)

Předpětí vzorku: bez předpětí

Rychlost posuvu: 50mm/min

Délka odlupu: 100mm

Klimatické podmínky:

T = 20 °C

ϕ =66%

4.4 Použité materiály

V lepeném spoji tvoří vždy jeden z adherendu podšívka a druhý membrána. Jako adhezivum byly využity polyuretanové lepidlo (1), polyuretanové lepidlo (2) s butanonem, kyanoakrylátové lepidlo (3), univerzální tavné lepidlo (4) a silikon (5). Čísla v závorkách odpovídají zvolenému značení vzorků. Ty byly po celou dobu zpracování značeny systémem čísel a písmen (např. A5 nebo F2'T).

4.4.1 Podšívka

Jeden z adherendu zkoušeného lepeného spoje tvoří vždy porézní textilní materiál, jehož povrchové vlastnosti jsou mj. určeny vazbou a hustotou (dostavou) pleteniny či tkaniny a jemností použitých přízí. Tyto textilní materiály jsou používány jako podšívka do hasičských rukavic. Pro tento účel jsou voleny materiály s příjemným omakem a dalšími užitnými vlastnostmi. Zároveň je důležitá odolnost vůči teplu, vlhku a jiným nepříznivým vlivům, jelikož je podšívka poslední vrstvou rukavice chránící svého uživatele (hasiče).

V tabulce 4 je uveden stručný přehled zvolených materiálů používaných jako podšívka pro hasičské rukavice. Pro následnou orientaci ve vzorcích byly textilie označeny velkými písmeny A – I.

Tabulka 4 Přehled použitých podšívek a jejich základní vlastnosti

Označení	Materiál	Charakter	Plošná hmotnost [g.m ⁻²]
A	Kevlar	režný úplet	200
B	bavlna	pleténina s počesem	300
C	bavlna/viskóza	obouliční pleténina	225
D	Modakryl	pleténina	290
E	Nomex	pleténina	360
F	bavlna	tkanina	225
G	P-aramid	3D pleténina	700
H	P-aramid	pleténina s počesem	280
I	bavlna/elastan	pleténina s počesem	300

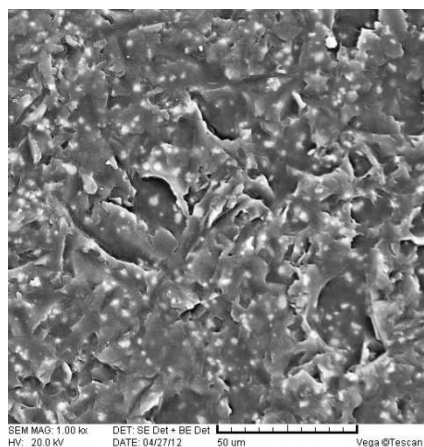
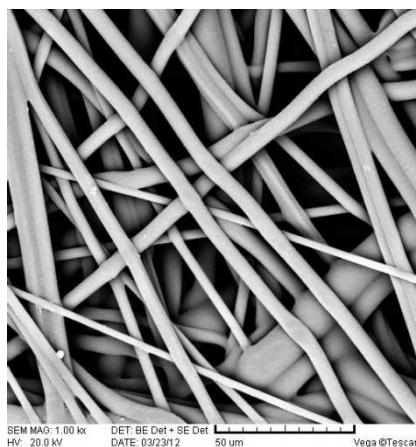
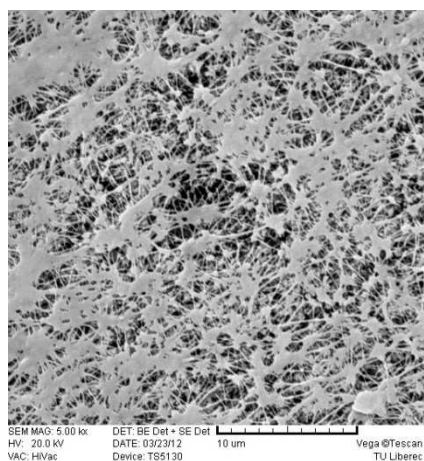
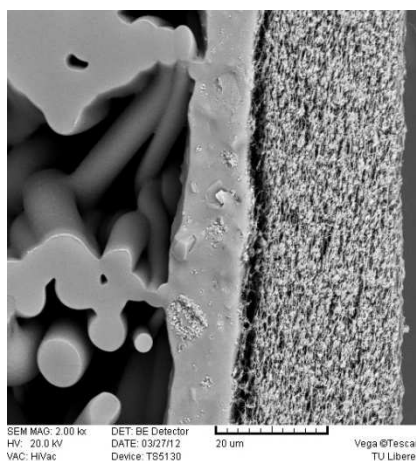
Podšívka (A) (viz obr.12) je tvořena režným úpletem z kevlaru. Tento materiál se často používá pro své mechanické vlastnosti (odolnost vůči oděru, prořezu a teplu), protože podšívka je poslední vrstvou chránící uživatele výrobku před vnějšími vlivy. Druhý materiál označený jako (B) je bavlněná pleténina s počesem (viz. obr 13), která sice nemá tak dobré funkční vlastnosti, je však uživatelsky velmi příjemná pro svůj omak. Dále byla použita režná obouliční pleténina označená jako (C) ze směsi bavlny a viskózy (viz. obr 14). Kombinace těchto dvou materiálů zajišťuje podšívce dobrou savost a příjemný omak. Modakrylový úplet (D) (viz obr 15) je pevný materiál a má dobrou odolnost proti teplu. Pleténina z nomexu (E) (viz obr 16) má velmi dobré mechanické vlastnosti a výbornou nehořlavost materiálu. Bavlněná tkanina s povrchovou úpravou (F) (viz obr 17) není

pružná jako pleteniny, zato má dobrou prostorovou stálost. P-aramidová 3D pletenina (G) (viz obr 18) a P-aramidová pletenina s počesem (H) (viz obr 19) jsou velmi kvalitní materiály z hlediska nehořlavosti. Směs bavlny s elastanem ve formě počesaného úpletu (I) (viz obr 20) má díky elastanu větší pružnost.

**Obrázek 12** Vzorek A (kevlar)**Obrázek 13** Vzorek B (bavlna)**Obrázek 14** Vzorek C (ba/VS)**Obrázek 15** Vzorek D (Modakryl)**Obrázek 16** Vzorek E (Nomex)**Obrázek 17** Vzorek F (ba tkanina)**Obrázek 18** Vzorek G (kevlar 3D) **Obrázek 19** Vzorek H (kevlar počes) **Obrázek 20** Vzorek I (ba/elastan)

4.4.2 Membrána

Jako druhý adherend pro lepený spoj byla použita polyuretanová (dále PU) (viz obr 21) a bikomponentní (viz obr 22) membrána s vrstvou PTFE (viz obr 23). PU membrána má nehořlavou úpravu (fire resistant), proto se značí PU-FR. Membrány musí mít vysokou odolnost vůči teple, aby rukavice dostatečně chránili hasiče proti ohni a žáru. Také by měly být nepromokavé, aby zajistili požadovaný komfort uživatele při práci s vodou.

**Obrázek 21** PU membrána**Obrázek 22** PU strana PTFE membrány**Obrázek 23** PTFE**Obrázek 24** Řez PTFE membránou

Na fotografiích povrchu membrán pořízených elektronovou mikroskopií je viditelný rozdíl struktur. Polyuretanová membrána je celistvá bez viditelných pórů nebo jiných výrazných nerovností. Zatímco teflonová membrána má polyuretanovou stranu velmi porézní. Z důvodu lepšího pochopení bikomponentní membrány byl zhotoven i snímek příčného řezu této membrány (viz obr 24). Na něm je možné vidět vlevo polyuretanová vlákna, uprostřed spojitou mezivrstvu a vrstvu teflonových nanovláken.

4.4.3 Lepidla

V této kapitole jsou uvedeny bližší informace o zkoušených lepidlech. Firma nechtěla uvést, která lepidla od jaké společnosti používá, proto jsou názvy u všech lepidel obecné.

4.4.3.1 Polyuretanové lepidlo (1)

Lepidlo je na bázi polyuretanového kaučuku určené pro průmyslové a profesionální použití. Lepidlo obsahuje přes 50% acetonu, do 20% ethyl-acetátu, 2-10% benzínové frakce a do 1% kyseliny fumarové. Základní charakteristika lepidla viz tabulka 5.

Tabulka 5 Charakteristika polyuretanového lepidla (1)

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Skupenství (při 20°C)	kapalina	
Barva	0,86	
Zápach (vůně)	Charakteristický	
Hustota (při 20°C)	0,86	g/cm ³
Viskozita	3,5	Pa·s
Teplota rozkladu	>120	°C
Hořlavost (pevné látky, plyny)	Hořlavá kapalina	

Teplota vznícení se uvádí na 460°C a min. pevnost v odlupování po 24hodinách 4N/mm.

Sít'ovadlo (1) pro dvousložková polyuretanová a polychloroprenová lepidla. Obsahuje přes 50% ethyl-acetátu, 15-25% Difenylnmethan-4,4'-diisokyanátu a do 10% diisokyanátu (methyldifenylenu). Základní údaje o sít'ovadle jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6 Charakteristika sít'ovadla (1)

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Skupenství (při 20°C)	kapalina	
Barva	Světle hnědá	
Zápach (vůně)	Charakteristický	
Hustota (při 20°C)	0,97	g/cm ³
Viskozita	0,01	Pa·s
Teplota varu	76	°C
Bod vzplanutí	-4	°C
Hořlavost (pevné látky, plyny)	Hořlavá kapalina	

4.4.3.2 Polyuretanové lepidlo (2)

Polyuretanové lepidlo ve směsi hořlavých rozpouštědel má složení 30-50% aceton, 10-20% butanon a 10-20% ethyl-acetát. Další údaje jsou uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7 Charakteristika lepidla

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Skupenství (při 20°C)	kapalina/tekuté	
Barva	průsvitná	
Zápach (vůně)	ketonový	
Hustota (při 20°C)	0,86	g/cm ³
Teplota varu	56	°C
Teplota rozkladu	>120	°C
Bod vzplanutí	není samozápalný	°C
Hořlavost (pevné látky, plyny)	Hořlavá kapalina	

Tužidlo je 100%ní difenylmethandiisokyanát (isomery a homology). Charakteristika tužidla je v níže uvedené tabulce 8.

Tabulka 8 Charakteristika tužidla

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Skupenství (při 20°C)	kapalina/tekuté	
Barva	tmavohnědá	
Zápach (vůně)	hnilobný	
Hustota (při 20°C)	1,23	g/cm ³
Teplota varu	>200	°C
Teplota rozkladu	>140	°C
Bod vzplanutí	>200	°C
Hořlavost (pevné látky, plyny)	Hořlavá kapalina	
Zápalná teplota:	>400	°C

4.4.3.3 Kyanoakrylátové lepidlo

je velmi rychle schnoucí adhezivum. Bližší informace jsou uvedeny v tabulce 9.

Tabulka 9 Kyanoakrylátové lepidlo

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Skupenství (při 20°C)	kapalina	
Barva	průhledná, čirá až slámově žlutá	
Zápach (vůně)	Charakteristický	
Viskozita	nízká	Pa·s
Hořlavost (pevné látky, plyny)	Hořlavá kapalina	

Aktivátor pro hydrofilizaci (aktivaci) povrchu urychluje vytvrzení kyanoakrylátových lepidel a upravuje povrch pro vytvoření dobrého lepeného spoje. Základní informace jsou uvedeny v tabulce 10. Doba fixace na většině připravených povrchů je menší než 5 sekund, ale je třeba nechat produkt 24 hodin při pokojové teplotě (22°C) pro získání maximální pevnosti spoje. Aktivátor při pokojové teplotě zasychá do 30 sekund a jeho přítomnost na povrchu je zjiřitelná UV zářením.

Tabulka 10 Charakteristika aktivátoru

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Skupenství (při 20°C)	kapalina	
Barva	Průhledná až lehce zamlžená	
Zápach (vůně)	Charakteristický	
Hustota (při 25°C)	0,68	g/cm ³
Viskozita	1,25	mPa·s
Hořlavost (pevné látky, plyny)	Hořlavá kapalina	

4.4.3.4 Tavné lepidlo

Tavné lepidlo se využívá v mnoha různých odvětvích. Náplně do tavné pistole jsou ve formě tyčinek, které se vysokou teplotou taví na gelové rychle tuhnoucí lepidlo.

Základní materiál/složení: etylen-vinylacetát-kopolymer (EVA)

Teplotní odolnost: max. +60°C

Doba aplikace (otevřená doba): cca 90 vteřin (v závislosti na teplotě podkladu)

Možnost namáhání: cca po 2 minutách

Další údaje jsou uvedeny v tabulce 11.

Tabulka 11 Charakteristika náplně do tavné pistole

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Skupenství (při 20°C)	kapalina	
Barva	transparentní	
Zápach (vůně)	Charakteristický	
Hustota (při 20°C)	0,98	g/cm ³
Viskozita	25.500 – 34.500	mPa·s
Bod vzplanutí	-4	°C
Teplota tání	+200	°C

4.4.3.5 Silikon

Univerzální silikon je jednosložkový acetický silikonový tmel pro sanitární použití se středním až vysokým modulem vhodný pro většinu stavebně konstrukčních aplikací. Výborně přilnavý ke všem podkladům. Teplotní odolnost -45°C až + 180°C. Pracovní doba 5 - 10 min. [14]

4.5 Výsledky

Tato kapitola pojednává o zjištěných poznatcích experimentální práce, vlivu aktivátoru a úpravy plazmou na povrchové napětí teflonu. Pevnost spoje membrány s textilií a vyhodnocení nejlepšího adheziva s ohledem k udržení pevnosti spoje po praní.

4.5.1 Stanovení povrchového napětí na membránách

Hodnota povrchové energie potřebná pro lepení je uváděna jako 38 mN·m⁻¹. Při zkoušce testovacími zvýrazňovači na teflonové membráně byla zjištěna hodnota povrchové energie nižší 30 mN·m⁻¹ (viz obr.25). Podle tohoto zjištění byla teflonová strana membrány vyhodnocena jako nevyhovující pro lepení.

**Obrázek 25** PTFE (hodnoty zleva 30,36,38)

4.5.2 Stanovení povrchového napětí na podšívkách

Pomocí fotoaparátu byly zhotoveny detailní fotky kapiček na povrchu textilie. Na některých materiálech se voda vsákla velmi rychle. Kapková metoda prozradila, že některé materiály jsou méně smáčivé, jak je uvedeno v tabulce 12.

Tabulka 12 Rychlost vsáknutí kapky vody do textilie

VZOREK	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Doba vsáknutí	okamžitě	>10 min.	6 s	>10 min.	>10 min	40s	7s	>10 min.	>10 min.

Na obrázcích 26 – 28 jsou ukázky kapek zachycených na textilních vzorcích



Obrázek 26 Vzor B



Obrázek 27 Vzor D

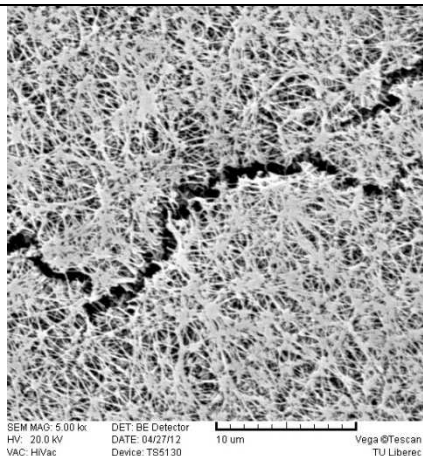
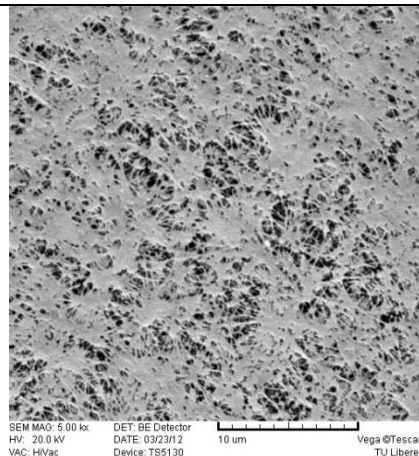


Obrázek 28 Vzor F

4.5.3 Hodnocení úpravy teflonu

Pro dobré zpracování lepeného spoje je důležité znát materiál, jaký má být slepen. Materiálové složení bikomponentní teflonové membrány bylo zkoumáno pomocí infračervené spektroskopie, která nejen že potvrdila obě materiálové složky, ale identifikovala i silikon dioxid (oxid křemičitý) ve střední vrstvě membrány.

Teflonový povrch membrány byl upravován Loctite aktivátorem a plazmovou modifikací. Elektronovou mikroskopií byly zobrazeny mikrostruktury povrchu membrán po těchto povrchových úpravách (viz obr. 29 – 30).

**Obrázek 29** PTFE + plazma**Obrázek 30** PTFE + aktivátor**Obrázek 31** PTFE + plazma (30,38,44)**Obrázek 32** PTFE +aktivátor (zleva 30,36,38)

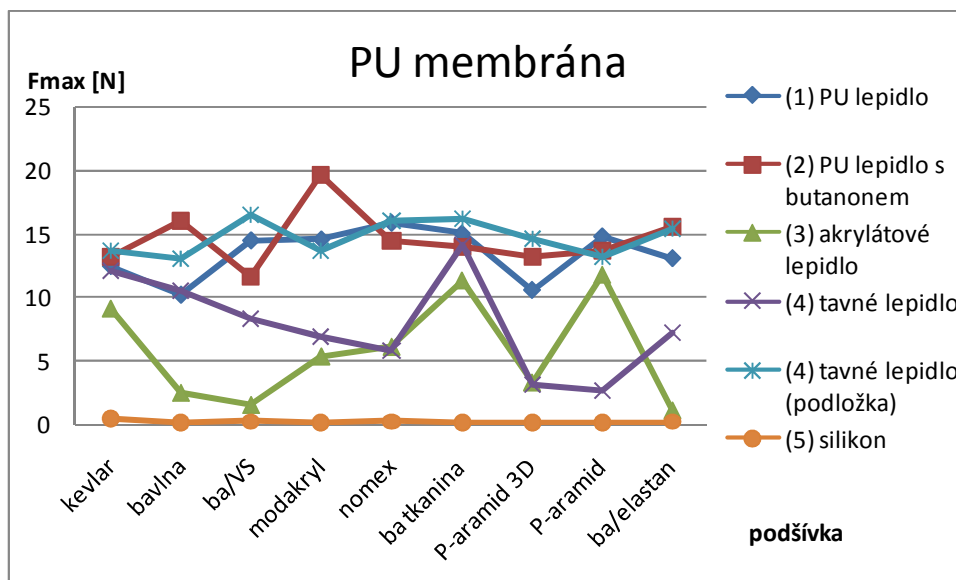
Jak je z dokumentace patrné, povrchová úprava nanesením aktivátoru nezpůsobila významnou změnu povrchového napětí (viz obr 32), ani struktury. Podle zkoušky testovacími zvýrazňovači se zvýšila povrchová energie na $30 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$, ale tato hodnota je stále pro lepení nevyhovující. Již při hodnotě $36 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ se tvoří kapičky a barva neulpívá rovnoměrně, jak by měla, natož pak při požadované hodnotě pro lepení.

Vzorek ošetřený plazmovým mikrovlnným výbojem měl narušený povrch natolik, že hladká místa viditelná elektronovou mikroskopií na povrchu membrány se změnila na strukturovaná. Některá místa byla porušena natolik, že se objevily i menší trhliny po celé ploše povrchu. Proto je důležité, aby intenzita aplikovaného plazmatického výboje nebyla příliš vysoká. Podle zkoušky provedené testovacími zvýrazňovači se zvýšila povrchová energie teflonu téměř na $44 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$, jak je zdokumentované na obrázku 31.

4.5.4 Stanovení pevnosti spoje

Pevnost spoje byla vyhodnocována ze dvou hledisek. Byl zkoumán typ porušení lepeného spoje podle normy ČSN ISO 10365. Pozorováním se rozlišuje adhezní a kohezní porušení spoje nebo porušení adherendu. Tento faktor je zjišťován pouze subjektivním pozorováním, avšak o kvalitě lepeného spoje vypovídá velmi mnoho. Konkrétní typy porušení jsou vyznačeny v tabulkách v příloze 2.

Druhým důležitým faktorem pro zhodnocení bylo zjištění maximální pevnosti v odlupování podle normy ČSN EN ISO 11339. Zkouška byla provedena na trhacím stroji Labtest, kdy z pěti stejných vzorků byl vytvořen průměr, který byl dále použit do grafů pevnosti níže uvedených.



Graf 1 Pevnost lepeného spoje na PU membráně

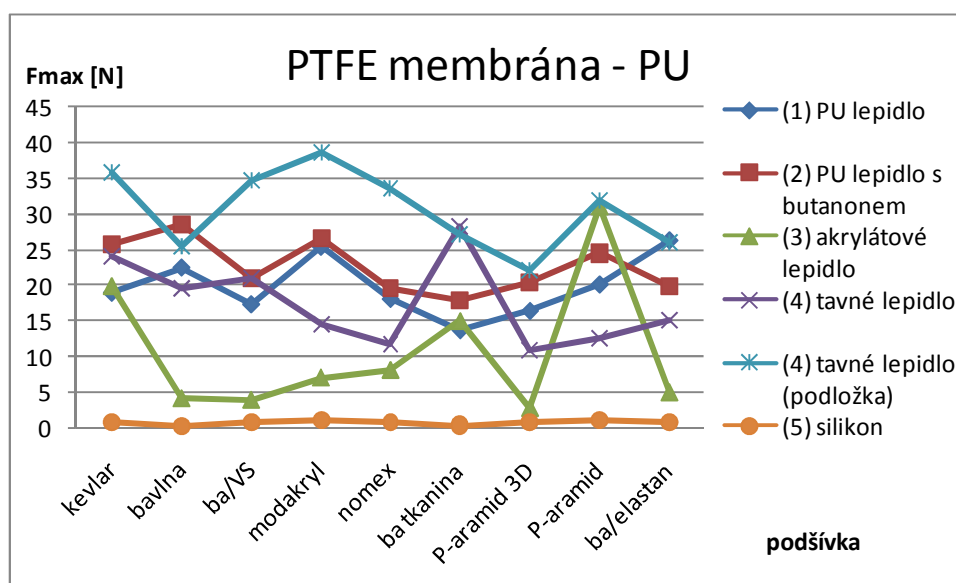
Z uvedeného grafu 1 je zřejmé, že silikonové lepidlo není vhodné pro tento typ spoje i přesto, že bylo identifikováno v bikomponentní membráně jako pojivo vrstev teflonu a polyuretanu. Spoj lepený silikonem nevykazuje požadovanou pevnost v žádné variantě lepených vzorků.

Spoj vytvořený pomocí akrylátového lepidla nejenže neprokázal požadovanou ohebnost spoje, ale ani pevnost nebyla dostatečná. Vyšších hodnot pevnosti dosáhl pouze ve spoji se vzorky bavlněné tkaniny a počesaného P-aramidu. V těchto případech se zřejmě jednalo o fyzikální spojení, protože povrch obou materiálů je velmi členitý a otevřený (porézní) a adhezivum má díky nízké viskozitě možnost zatečení do struktury materiálu.

Spojení pomocí tavného lepidla vykazuje velmi stabilní výsledky, ovšem pouze při zajištění pomalého tuhnutí lepidla. V případě tavného univerzálního lepidla naneseného na adherend bez použití termoizolační podložky došlo k příliš rychlému zchladnutí lepidla a pevnost spoje byla nízká.

Polyuretanové lepidlo dosáhlo relativně uspokojivých výsledků, ale při nižších hodnotách pevnosti než lepidlo tavné. Druhé polyuretanové lepidlo s butanonem vykázalo v některých případech největší pevnost spoje, ale rozdíly v pevnostech mezi různými textilními materiály jsou méně stabilní.

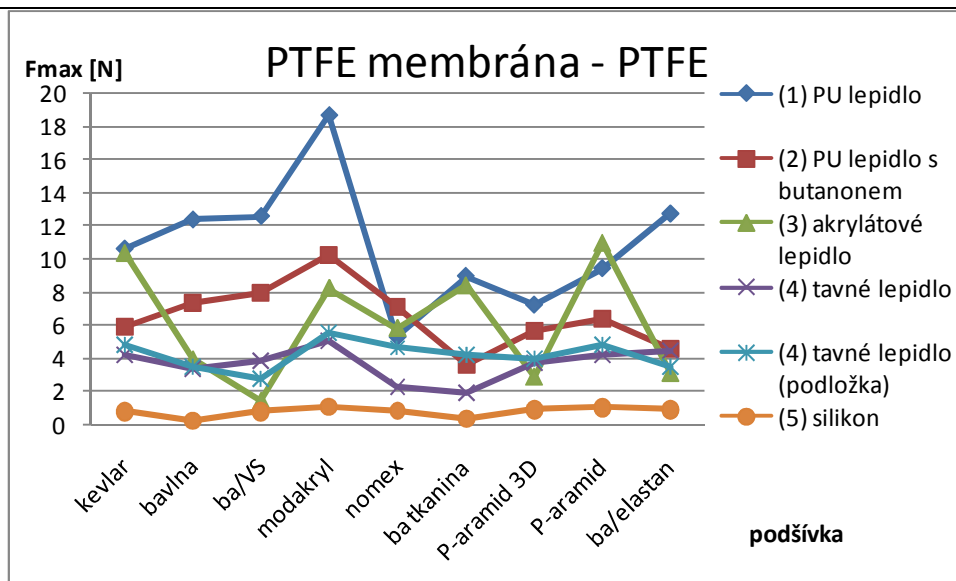
Průměrná vyšší hodnota pevnosti spoje s polyuretanovou membránou se pohybuje kolem 15N. Pokud by měla být stanovena přibližná hranice pevnosti, pak by se u této membrány pohybovala přibližně na 12N. U vyšších hodnot pevnosti docházelo převážně k přetrhu membrány a nikoli k porušení spoje. Tato membrána prokázala vysokou tažnost, kdy při zkoušce pevnosti dosahovalo protažení vzorku až kolem 200 %.



Graf 2 Pevnost lepeného spoje na PTFE membráně z PU stany

Při spojení textilií s polyuretanovou stranou bikomponentní membránou (viz graf 2) dosahovala pevnost spoje přibližně o jednu třetinu vyšších hodnot, než u membrány polyuretanové. Lze předpokládat, že hrubší struktura materiálu zajistila lepší adhezi.

Nejlépe se prokázalo lepidlo tavné, kdy při spojení s modakrylem dosahuje pevnost spoje až 38N. Tato membrána nemá díky své struktuře takovou tažnost jako čistě polyuretanová membrána. Její protažení při zkouškách pevnosti spoje dosahovala maximálně 100 % protažení.

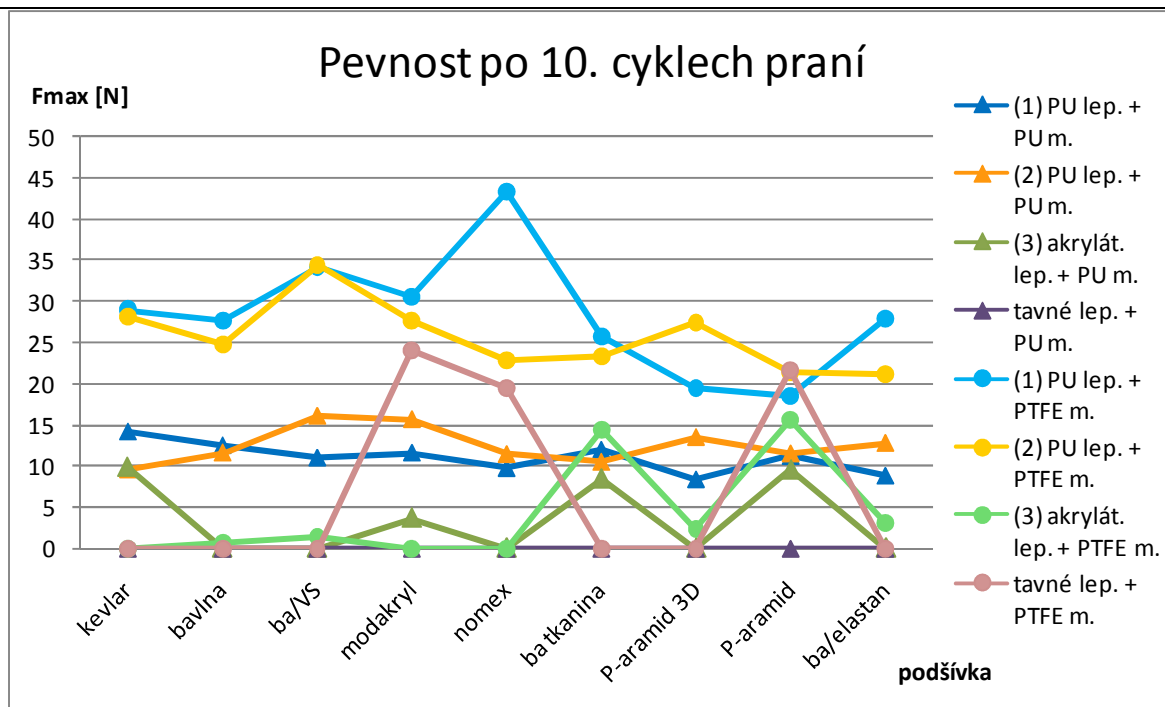


Graf 3 Pevnost lepeného spoje na PTFE membráně z PTFE stany

Teflonová strana bikomponentní membrány (viz graf 3) při spojení s textiliemi nedosahovala ani poloviční pevnosti, jako její druhá polyuretanová strana. Výjimku tvořil pouze spoj polyuretanového lepidla s modakrylem, kdy pevnost dosáhla hodnoty přes 18N. Polyuretanové lepidlo sice spoj slepilo, ale tenká vrstva teflonu se odlupovala a membrána se tak poškodila. Pozitivní výsledek z hlediska lepeného spoje byl, že přibližně nad hodnoty 5N se začínala ničit membrána ve spoji a nedocházelo pouze k adhezivnímu porušení.

4.5.4.1 Vliv praní a sušení na pevnost spoje

Vzorky slepené vybranými lepidly byly podrobeny zkoušce praní na technické pračce Miele PROFESSIONAL W 6071. Program byl nastaven dle normy ČSN EN ISO 6330 na 60°C a maximální otáčky 800ot./min. Prací proces proběhl bez přítomnosti pracího prášku. Nebyl zkoumán vliv chemických složek prášků, ale mechanické a fyzikální vlivy probíhající při praní. Vzorky prodělaly 10 cyklů praní, mezi jednotlivými cykly byly usušeny ve svislé poloze při pokojové teplotě.

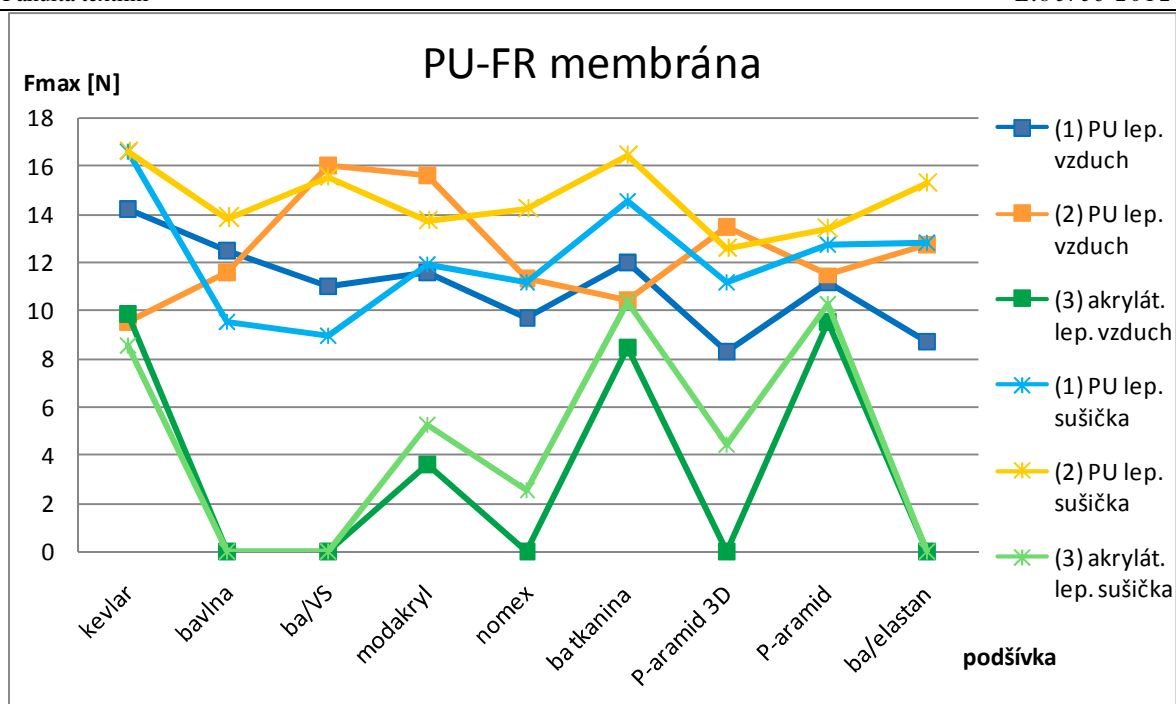


Graf 4 Vliv praní na pevnost lepeného spoje

Na grafu 4 lze postřehnout, že pevnost spoje textilií s polyuretanovou stranou bikomponentní membrány pomocí polyuretanových lepidel dosahuje stále vysokých pevností. Spojení stejnými lepidly s polyuretanovou membránou dosahuje téměř o polovinu nižších hodnot pevnosti spoje než s membránou bikomponentní.

Tavné lepidlo díky své nízké odolnosti vůči vyšším teplotám nevydrželo bez poškození. Až na tři vzorky se všechny ostatní rozpadly již během pracího procesu.

Akrylát se projevil též jako nepoužitelný. Jediné materiály, na kterých ulpěl natolik, že spoj vydržel prací proces byla bavlněná tkanina a počesaná P-aramid.

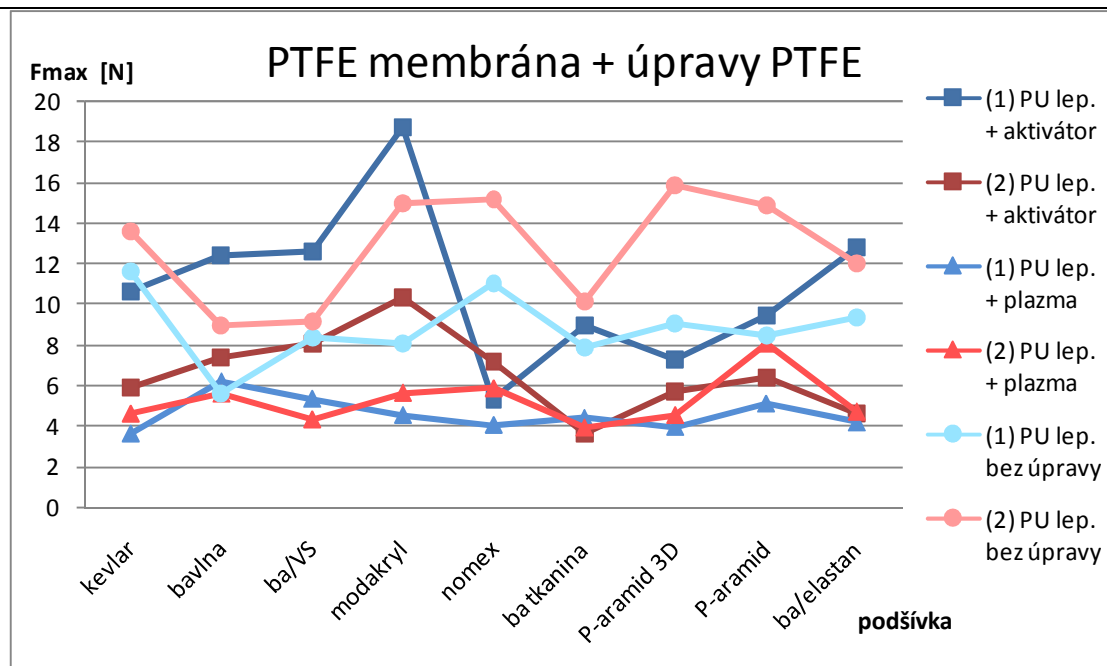


Graf 5 Vliv způsobu sušení na pevnost lepeného spoje

Byl zkoumán vliv sušení za běžných klimatických podmínek při pokojové teplotě a sušení v sušičce. Pro tento experiment byly zvoleny vzorky slepené polyuretanovými lepidly a lepidlem akrylátovým. Pevnost spoje po deseti cyklech praní a sušení je znázorněna na grafu 5. Pro lepší orientaci jsou jednotlivá lepidla znázorněna podobnými barvami. Z grafu není patrný viditelný rozdíl mezi sušením při klimatizovaných podmínkách a za použití sušičky.

4.5.4.2 Vliv úpravy povrchu PTFE membrány na pevnost spoje

Při úpravě plazmou byla pozorována nižší pevnost spoje. Je však nutno zdůraznit, že nedocházelo k adhezivnímu porušení spoje, ale k přetržení nebo delaminaci membrány. Na základě toho lze konstatovat, že i při nízké intenzitě plazmové úpravy došlo k narušení povrchu natolik, že již tak velmi tenká vrstva teflonu ztratila svoji původní pevnost. Překvapujících výsledků pevnosti bylo dosaženo při spojení membrány s podšívkou bez použití jakékoliv úpravy (viz graf 6). I přes naměřenou nízkou hodnotu povrchové energie teflonové strany membrány, která by dle hodnot měla být nelepitelná, bylo dosaženo pevnějšího spojení než s plazmovou úpravou.



Graf 6 Vliv úpravy povrchu PTFE membrány na pevnost spoje

Ve většině případů došlo při zkoušce pevnosti spoje k porušení membrány. To by mohlo být způsobeno nedostatečnou pevností spoje bikomponentní membrány.

Bylo by zajímavé vyzkoušet možnosti lepených spojů na jiné jednokomponentní teflonové membráně.

5 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Z výsledků měření vyplývá, že na zkoušených materiálech vykazuje nejvyšší adhezi polyuretanové lepidlo. Svou pevností se mu vyrovná tavné univerzální lepidlo (hot-melt), které ovšem není určeno pro teploty nad 60°C. Z toho důvodu vzorky termicky pojené vydržely zkoušku praní pouze z 15%. Ostatní vzorky se rozpadly během 10 cyklů praní při teplotě 60°C. Tento nedostatek by bylo možné vyřešit použitím jiného tavného lepidla, např. polyetylenu, který má vyšší tepelnou odolnost. Tato metoda se jeví jako vhodná i přesto, že byla použita pouze běžně dostupná náplň s nízkou tepelnou odolností a docházelo k rozpadu spoje při praní za vyšších teplot. Pevnost spoje vykazovala nejstabilnější hodnoty se všemi použitými materiály. U použití tavného lepidla bylo zjištěno, že velmi záleží na podmínkách nanášení. Výrobce doporučuje před spojením materiály nahřát na požadovanou teplotu, aby doba spojování byla dostatečně dlouhá pro ulpění lepidla. Vzhledem k lepení textilií, které jsou prodyšné a tenké, by bylo dobré nanášet lepidlo na materiály položené na vyhřívané podložce (stůl, pás). Tento požadavek byl z omezených možností nahrazen podmínkou nanášení adheziva (tavného lepidla) na tepelně-izolačním podkladu (polystyrenové desce), aby odvod tepla z lepeného materiálu nebyl příliš rychlý a lepidlo mělo delší dobu pro zatečení do struktury lepených materiálů.

Použité kyanoakrylátové lepidlo nedosahovalo předpokládaných výsledků pevnosti a pružnosti. Po zkoušce praním se dokonce tuhé spoje buď lámaly, nebo rozpadly. Vyšších hodnot pevnosti dosahovalo pouze spojení membrány se strukturovaným textilním povrchem, u kterých mohlo dojít k mechanickému spojení při zatečení lepidla do hrubé struktury textilie. Tím ale vznikl velmi tuhý a nepoddajný spoj.

Díky analýze materiálového složení bikomponentní membrány byla zjištěna přítomnost silikonového pojiva mezi vrstvami teflonu a polyuretanu. Na základě tohoto poznatku bylo rozhodnuto vyzkoušet i silikonový tmel, který se však neosvědčil v žádné variantě spoje, protože koheze silikonu nebyla dostatečná. Lze přepokládat, že v případě spojování daných komponent membrány je možné využít silikon jako vrstvu měnící porozitu materiálů, ale hlavní roli zde nejspíš hraje technologie spojování. Ta stejně jako u výrobních podmínek produktů většiny ostatních firem není plně známa. Z toho důvodu je silikonový tmel jako pojivo nepoužitelný.

Z pohledu nákladů na vytvoření jednotkové délky spoje lze konstatovat, že nejméně nákladný je silikon. Naopak nejdražší (více jak desetkrát dražší než druhé nejdražší pojivo)

bylo lepidlo kyanoakrylátové, které nelze díky špatným výsledkům uplatnit. Z finančního hlediska vycházejí nejlépe použití polyuretanových lepidel a lepidel tavných, které jsou ve výsledcích srovnatelné. Jediný možný rozdíl je nutnost zakoupení tužidla do polyuretanových lepidel, pro jejich vytvrzení. Tavná lepidla další příměsi nepotřebují, protože jejich vytvrzení funguje v závislosti na teplotě. Zde tedy stačí nanášení za tepla a vytvrzení ochlazením na pokojovou teplotu. U tavných lepidel je nutné počítat s počátečním nákladem na tavné pistole, případně nahřívací pracovní plochu. Tento technologický postup je sice náročnější na bezpečnost práce vzhledem k teplotě, ale odbourá se nepraktické nanášení lepidla štětcem. Díky lepší manipulaci se sníží míra odpadu. V případě míchání polyuretanových lepidel s tužidly se totiž musí připravit určité množství adheziva, které je nutné velmi rychle zpracovat, protože reaguje a pomalu zasychá. Připravené, ale nevyužité lepidlo, se tak musí zlikvidovat a tím vzniká vysoké procento odpadu. Nehledě na fakt, že i kvůli malému počtu kusů rukavic je nutno nachystat určité minimální množství lepidla. Tento problém tavná lepidla řeší velmi efektivně, jelikož náplně v tavné pistolí je možno mnohonásobně zahřát podle potřeby. Tak je tepelně zpracováno pouze množství, které je následně i využito.

Nežádoucí tuhost spoje byla pozorována pouze u kyanoakrylátového lepidla. V ostatních případech byl při rovnoměrném, ale minimálním nánosu pojiva, a následném zatížení pozorován díky viskozitě lepidla spoj s dobrou ohebností. Nepředpokládá se, že by takovýto spoj zapříčinil zhoršenou citlivost při použití rukavice.

Dále byl experimentálně zkoumán vliv pracího procesu na pevnost spoje a jeho odolnost vůči mechanickým vlivům. Výše zmíněná zkouška praní byla provedena na technické pračce za nepřítomnosti pracího prášku, aby nebyly výsledky ovlivněny chemickým působením detergentů. Na základě požadavků zadavatele byl vyzkoušen na několika vybraných vzorcích s dobrou odolností vůči praní rozdíl vlivu sušení za pokojové teploty ve svislé poloze a použití sušičky s programem Outdoor do 60°C. Naměřené hodnoty pevnosti nevykazovaly tendenci jednoznačně určující vliv rozdílu mezi oběma druhy sušení, což je pro uživatele výhodné. V opačném případě by při špatném sušení v praxi docházelo k selhání spoje a tím k vyvlékání podšívky rukavic.

Následně se diplomová práce zabývá úpravou teflonového povrchu membrány. Ten je podle naměřeného povrchového napětí nelepitelný. Doporučovaný aktivátor nebyl shledán použitelným pro daný účel. Povrchová energie, která dříve nedosahovala ani minimálního výsledku $30 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$, se po jeho použití zvýšila alespoň na tuto hodnotu. Ta je ale stále pro

lepení nedostačující. Pro prohlášení materiálu za lepitelný je uváděna hodnota povrchového napětí $38 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$. Jedinou funkční úpravou byla aplikace plazmatického mikrovlnného výboje. Tato úprava teflonové membrány narušila strukturu povrchu natolik, že se její povrchová energie zvýšila téměř na $44 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$. Úprava plazmou je aplikovatelná na teflonový povrch s jedinou výhradou. Došlo k podezření, že přestože plazma působí pouze do hloubky řádově stovek nanometrů, dochází díky opravdu tenké vrstvě teflonu na bikomponentní membráně k jeho narušení. To může mít za následek snížení pevnosti membrány, ale i jiných funkčních vlastností. Tento možný problém by mohl být řešen použitím jednokomponentní teflonové membrány a tím i silnější vrstvy teflonu. Bylo by nutné stanovit maximální intenzitu působení plazmy. To vzhledem k nedostupnosti plazmové komory v průběhu vypracovávání diplomové práce nebylo možné provést.

6 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Cílem práce bylo prozkoumat možnosti zvýšení adheze textilních materiálů, navrhnout realizaci lepeného spoje podšívky s membránou v hasičské rukavici a experimentálně ověřit vlastnosti spoje.

Vzorky byly lepeny nevyprané, shodně jako při profesionální konfekční výrobě. Nejvyšší pevnosti podšívek s polyuretanovou membránou vykazoval ve většině případů spoj provedený tavným lepidlem. Jeho pevnost je v případě PU membrány nejstálější se všemi druhy podšívek. Tento nový způsob provedení lepeného spoje řeší nejenom pevnost, ale i finanční nákladnost a škodlivost výparů polyuretanových lepidel, které dosahovaly také velmi dobrých výsledků. Ostatní použítá pojiva takových hodnot nedosahovala.

Při zkoušce praní byla zjištěna odolnost vůči teplotě 60°C a mechanickým vlivům pracího procesu pouze u polyuretanových lepidel. Zkoušené univerzální tavné lepidlo nebylo určeno k použití při 60°C a ostatní pojiva taktéž neprokázala požadovanou odolnost. Nedostatečnou tepelnou odolnost tavného lepidla by bylo možné vyřešit zvolením jiné náplně. Vliv způsobu sušení na pevnost spoje nebyl prokázán.

Bylo provedeno měření povrchového napětí teflonové membrány testovacími zvýrazňovači a byl stanoven přibližný okrajový úhel pomocí kapkové metody. Nedostatečnou smáčivost textilií by bylo možné zvýšit pracím procesem před zpracováním materiálů, ten by odboural nanesené vrstvy šlichty a jiných úprav z výrobního procesu.

Velmi zajímavého výsledku bylo dosaženo zvýšením povrchového napětí teflonové vrstvy po úpravě plazmou, která působením mikrovlnného výboje naruší povrch a zvýší tak jeho možnost pojení. Intenzitu mikrovlnného výboje pro teflonovou membránu je však nutné volit velmi nízkou vzhledem k tloušťce materiálu, aby se vrstva teflonu příliš nepoškodila.

Při zkoušce pevnosti lepeného spoje teflonu s textilií docházelo na bikomponentní membráně k rozpadu membrány na rozhraní PU a PTFE. Ulpění lepidla na teflonu bylo po úpravě plazmou 100%ní. Avšak pevnost membrány v tahu nebyla příliš vysoká. Proto doporučuji k ověření aplikaci plazmatu na 100% PTFE membránu s následným ověřením pevnosti spoje.

7 SEZNAM LITERATURY A ZDROJŮ

- [1] BOUBÍK, V.: Lepidla a jejich příprava. Státní nakladatelství technické literatury. Praha 1964. ISBN 04-951-64
- [2] BARTKOVÁ, H., KLUSOT, P.: Stanovení povrchové snášivosti, [online] [cit. 2011-12-12] Dostupné z:< <http://www.vscht.cz/kot/resources/studijni-materialy/labchcht-001/n150013-b6.pdf>>
- [3] GREGOR, M.: Lepidla - tmely, [online] [cit. 2011-12-20] Dostupné z:<<http://www.gluetechology.eu/4852/lepeni-lepenie/>>
- [4] MILITKÝ, J.: Textilní vlákna klasická a speciální. skripta TU Liberec, 2002.
- [5] OSTEN, M.: Práce s lepidly a tmely. Státní nakladatelství technické literatury. Praha 1986.
- [6] SODOMKA, L.: Struktura, vlastnosti, diagnostika a nové technologie oddělování, spojování a pojení textilií. skripta TU Liberec 2002
- [7] OSTEN, M.: Lepení plastických hmot. Státní nakladatelství technické literatury. Praha 1967. ISBN 04-603-74
- [8] ČADA, O.: Lepení plastů a pryže navzájem a s jinými materiály. Společnost pro průmyslovou chemii. Praha 1985
- [9] Holík International s.r.o., [online] [cit. 2012-03-12] Dostupné z:< <http://www.holik-international.cz/zasahove-rukavice-pro-hasice-armadu-a-zachranare/technologie/materialovy-sandwich-zasahovych-rukavic/>>
- [10] Surface treat, [online] [cit. 2012-03-25] Dostupné z:<<http://www.surface-treat.com/?q=smacivost-3d-objekty>>
- [11] KOLEKTIV AUTORŮ: Loctite, Worlwide Design Handbook. Mainz: Erasmusdruck GmbH, 1998. 452 s. ISBN 0-9645590-0-5
- [12] DRAŠAROVÁ, J.: Vysoce funkční textilie. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009
- [13] MILITKÝ, J.: Technické textilie. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007.
- [14] OLIVE QUIMICA, S.A., [online] [cit. 2012-04-22] Dostupné z:<www.olivequimica.com>
- [15] ČSN EN ISO 11339: T-zkouška v odlupování lepených sestav z ohebných adherendů, Český normalizační institut
- [16] ČSN EN ISO 8510-1:1990: Zkouška v odlupování zkoušeného tělesa z ohebného a tuhého adherendu, Český normalizační institut

- [17] ČSN ISO 10365: Označení hlavních typů porušení lepeného spoje, Český normalizační institut
- [18] ČSN EN ISO 6330: Postupy domácího praní a sušení pro zkoušení textilií, Český normalizační institut

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Struktura lepeného spoje	11
Obrázek 2 Sendvič hasičské rukavice [9]	26
Obrázek 3 Nanášení lepidla na analytických vahách	27
Obrázek 4 Fixace nově vzniklého spoje.....	28
Obrázek 5 Lepení tavnou pistolí na položce	28
Obrázek 6 Vzorky na T-zkoušku v odlupování dle normy 11339	29
Obrázek 7 Střídaté porušení složené ze dvou typů [16].....	30
Obrázek 8 Testovací fixy pro povrchové napětí	32
Obrázek 9 Plazmová komora	33
Obrázek 10 Trhačka Labtest	33
Obrázek 11 Ovládací panel trhačky	34
Obrázek 12 Vzorek A (kevlar)	35
Obrázek 13 Vzorek B (bavlna)	35
Obrázek 14 Vzorek C (ba/VS)	36
Obrázek 15 Vzorek D (Modakryl)	35
Obrázek 16 Vzorek E (Nomex)	35
Obrázek 17 Vzorek F (ba tkanina)	36
Obrázek 18 Vzorek G (kevlar 3D)	35
Obrázek 19 Vzorek H (kevlar počes)	35
Obrázek 20 Vzorek I (ba/elastan)	36
Obrázek 21 PU membrána	36
Obrázek 22 PU strana PTFE membrány	37
Obrázek 23 PTFE	36
Obrázek 24 Řez PTFE membránou.....	37
Obrázek 25 PTFE (hodnoty zleva 30,36,38).....	411
Obrázek 26 Vzorek B	41
Obrázek 27 Vzorek D	41
Obrázek 28 Vzorek F	42
Obrázek 29 PTFE + plazma	42
Obrázek 30 PTFE + aktivátor	43
Obrázek 31 PTFE + plazma (30,38,44)	42
Obrázek 32 PTFE +aktivátor (zleva 30,36,38)	43

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Pevnost lepeného spoje na PU membráně.....	44
Graf 2 Pevnost lepeného spoje na PTFE membráně z PU stany	45
Graf 3 Pevnost lepeného spoje na PTFE membráně z PTFE stany	46
Graf 4 Vliv praní na pevnost lepeného spoje	47
Graf 5 Vliv způsobu sušení na pevnost lepeného spoje	48
Graf 6 Vliv úpravy povrchu PTFE membrány na pevnost spoje	49

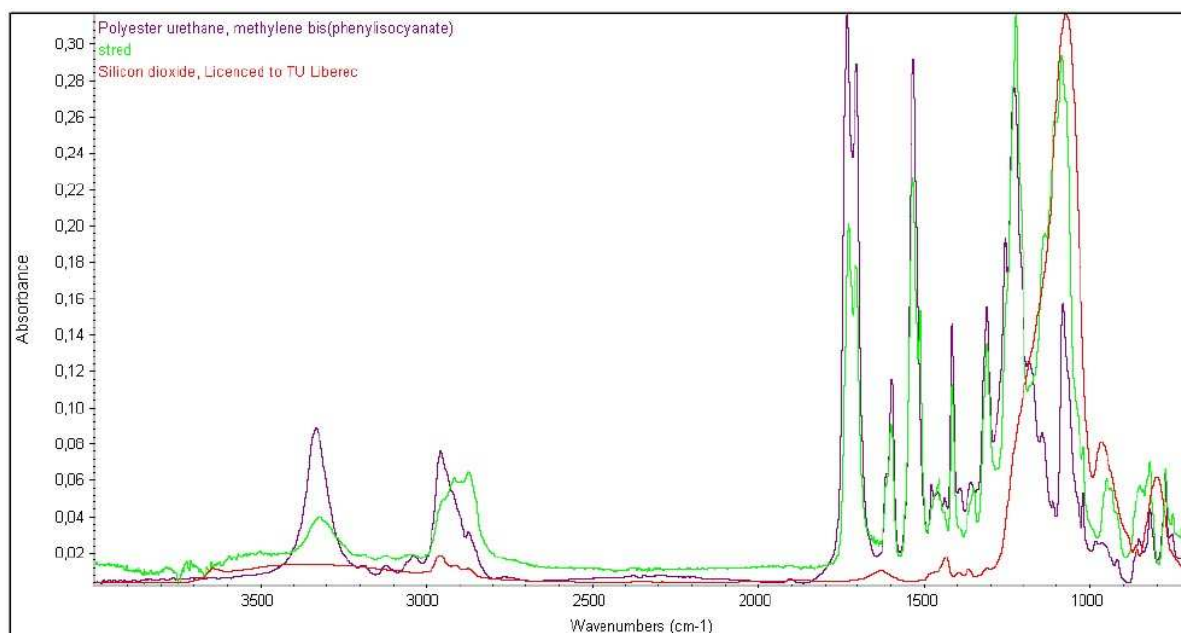
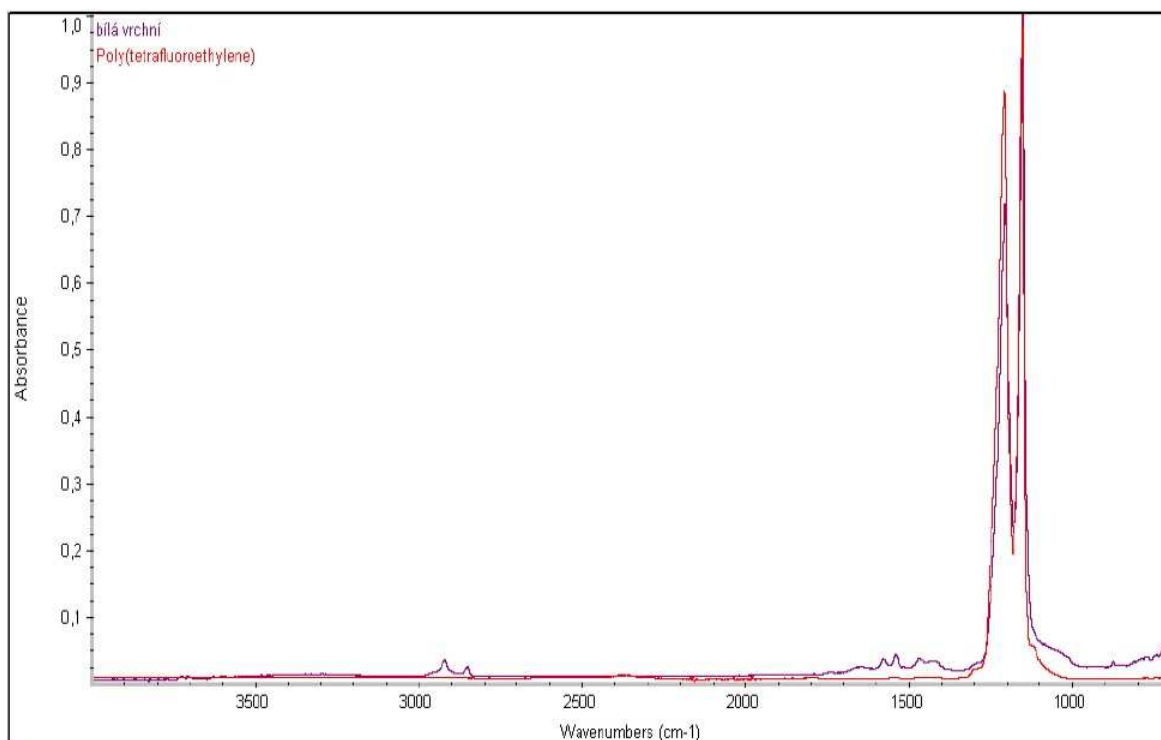
SEZNAM TABULEK

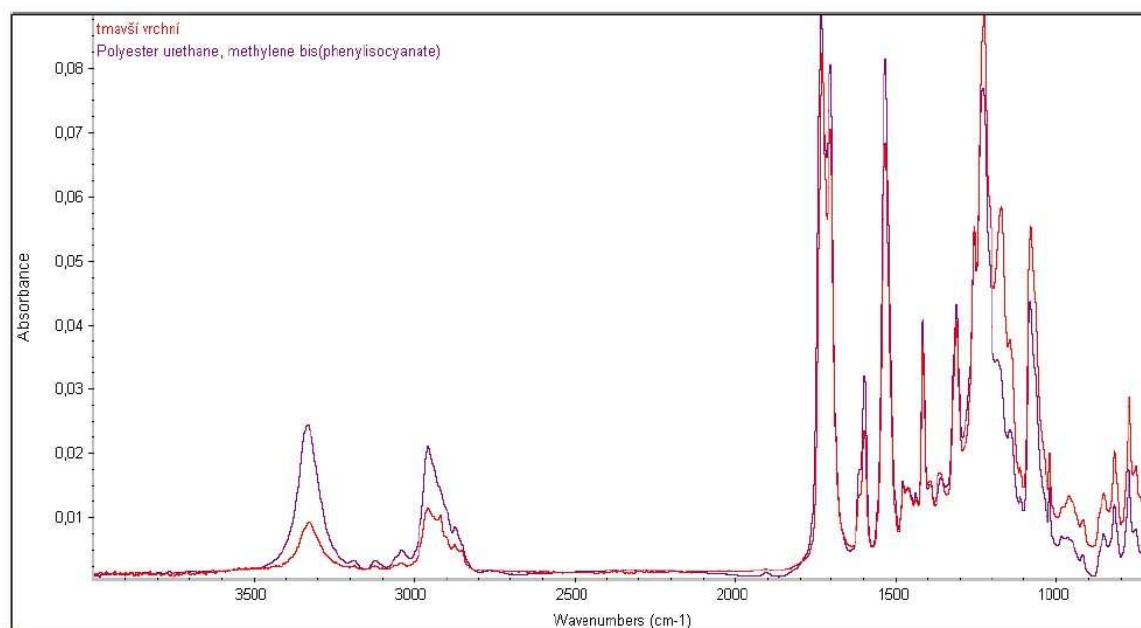
Tabulka 1 Kapková metoda.....	13
Tabulka 2 Možnosti spoje plochého materiálu [7].....	15
Tabulka 3 Typy porušení lepených spojů dle ČSN ISO 10365	31
Tabulka 4 Přehled použitých podšívek a jejich základní vlastnosti.....	35
Tabulka 5 Charakteristika polyuretanového lepidla (1).....	38
Tabulka 6 Charakteristika síťovadla (1).....	38
Tabulka 7 Charakteristika lepidla	39
Tabulka 8 Charakteristika tužidla	39
Tabulka 9 Kyanoakrylátové lepidlo	40
Tabulka 10 Charakteristika aktivátoru	40
Tabulka 11 Charakteristika náplně do tavné pistole	41
Tabulka 12 Rychlost vsáknutí kapky vody do textlie	42

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1** Rozbor bikomponentní membrány (grafy z IČ analýzy)
Příloha 2 Statistické tabulky maximální pevnosti vzorků a typy porušení
Příloha 3 Tabulky spotřeby polyuretanových lepidel

Příloha 1 Rozbor bikomponentní membrány (grafy z IČ analýzy)





Příloha 2 Statistické tabulky maximální pevnosti vzorků a typy porušení

Fmax [N]	kevlar	bavlna	ba/VS	modakryl	nomex	ba tkanina	P-aramid 3D	P-aramid	ba/ elastan
1+PU	13,33	15,22	13,96	13,83	15,84	16,03	9,73	13,96	14,18
	12,24	10,2	13,8	15,56	16,31	12,55	12,39	15,18	13,8
	11,29	4,71	16,31	14,62	18,51	15,69	11,76	20,08	12,55
	14,74	14,18	15,4	15,37	15,62	16,16	8,25	10,07	14,12
	10,67	6,78	12,86	13,33	12,93	14,59	10,82	14,59	10,73
x	12,454	10,218	14,466	14,542	15,842	15,004	10,590	14,776	13,076
s ²	2,115	16,575	1,510	0,741	3,173	1,811	2,175	10,229	1,723
s	1,454	4,071	1,229	0,861	1,781	1,346	1,475	3,198	1,313
95% IS	1,275	3,569	1,077	0,754	1,561	1,179	1,293	2,803	1,150
v [%]	11,678	39,844	8,495	5,919	11,245	8,968	13,928	21,645	10,037
typy porušení	SF	AF(50%) +SF(50%)	(P) SF	SF	AF(05%) + SF(95%)	(P) SF	AF(10%) + SF(90%)	SF	SF

Fmax [N]	kevlar	bavlna	ba/VS	modakryl	nomex	ba tkanina	P-aramid 3D	P-aramid	ba/ elastan
1+	20,23	21,46	19,92	21,96	14,46	10,26	16,78	20,77	30,43
PTFE-PU	18,51	28,55	23,62	24,44	18,76	14,4	13,93	18,82	30,27
	20,11	22,12	12,86	28,71	18,51	14,9	14,74	21,96	25,29
	17,51	21,96	13,8	28,23	20,71	11,95	17,88	19,61	21,46
	18,13	18,04	16,31	23,22	17,73	16,94	18,51	19,11	23,59
x	18,898	22,426	17,302	25,312	18,034	13,690	16,368	20,054	26,208
s ²	1,182	11,597	15,950	7,287	4,156	5,465	3,128	1,351	12,913
s	1,087	3,405	3,994	2,699	2,039	2,338	1,769	1,162	3,593
95% IS	0,953	2,985	3,501	2,366	1,787	2,049	1,550	1,019	3,150
v [%]	5,753	15,185	23,083	10,665	11,304	17,076	10,805	5,797	13,711
typy porušení	AF(70%)+ CSF(30%)	AF(60%)+ CSF(40%)	AF(60%)+ CSF(40%)	AF(45%)+ SF(5%)+ CSF(50%)	AF(40%)+ CSF(60%)	AF(65%)+ CSF(35%)	AF(43%)+ CSF(57%)	AF(10%)+ CSF(90%)	AF(35%)+ CSF(65%)

Fmax [N]	kevlar	bavlna	ba/VS	modakryl	nomex	ba tkanina	P-aramid 3D	P-aramid	ba/elastan
1+PTFE-PTFE	10,04	18,85	14,59	18,79	6,68	7,84	7,37	16,56	8,97
aktivátor	11,14	8,63	13,4	15,78	5,33	7,47	5,65	8,16	10,67
	10,07	10,51	12,86	15,53	4,77	8	5,62	8,82	12,14
	10,07	13,33	10,82	20,86	4,39	9,38	10,35	7,22	24,97
	11,76	10,54	11,23	22,37	5,33	12,17	7,22	6,43	6,9
x	10,616	12,372	12,580	18,666	5,300	8,972	7,242	9,438	12,730
s ²	0,502	12,742	1,942	7,342	0,603	2,975	2,968	13,341	40,507
s	0,709	3,570	1,394	2,710	0,777	1,725	1,723	3,653	6,365
95% IS	0,621	3,129	1,222	2,375	0,681	1,512	1,510	3,202	5,579
v [%]	6,676	28,852	11,078	14,517	14,652	19,225	23,790	38,700	49,996
typy porušení	AF(55%)+CSF(45%)	AF(10%)+CSF(90%)	AF(25%)+CSF(75%)	AF(10%)+CSF(90%)	AF(0%)+CSF(100%)	AF(25%)+	AF(0%)+CSF(100%)	AF(54%)+	AF(15%)+

Fmax [N]	kevlar	bavlna	ba/VS	modakryl	nomex	ba tkanina	P-aramid 3D	P-aramid	ba/elastan
1+PTFE-PTFE	13,02	8,31	4,96	10,48	11,61	7,87	7,37	7,06	12,05
bez úprav	11,14	4,49	13,33	5,46	9,04	5,33	13,02	10,51	5,36
	13,49	5,49	9,1	6,65	15,69	6,74	10,79	6,74	9,41
	8,31	5,8	7,22	10,38	10,67	6,93	6,9	8,16	9,04
	12,17	4,02	7,06	7,37	8	12,39	7,4	9,73	10,98
x	11,626	5,622	8,334	8,068	11,002	7,852	9,096	8,440	9,368
s ²	3,389	2,224	7,959	4,093	7,064	5,808	5,789	2,164	5,193
s	1,841	1,491	2,821	2,023	2,658	2,410	2,406	1,471	2,279
95% IS	1,614	1,307	2,473	1,773	2,330	2,112	2,109	1,290	1,997
v [%]	15,835	26,529	33,851	25,074	24,157	30,693	26,452	17,431	24,326
typy porušení	CSF	AF(5%)+CSF(95%)	CSF	CSF	CSF	CSF	CSF	CSF	CSF

Fmax [N]	kevlar	bavlna	ba/VS	modakryl	nomex	ba tkanina	P-aramid 3D	P-aramid	ba/elastan
1+PTFE-PTFE	3,23	10,67	7,97	3,67	2,92	3,67	3,8	3,14	3,45
plazma	3,48	5,49	3,48	4,24	3,23	7,12	4,3	3,61	3,61
	3,64	3,76	5,33	4,89	4,14	3,42	4,2	3,95	4,71
	3,61	6,21	5,18	5,18	5,55	3,01	4,42	5,21	4,49
	3,92	4,71	4,58	4,52	4,2	4,55	2,82	9,41	4,39
x	3,576	6,168	5,308	4,500	4,008	4,354	3,908	5,064	4,130
s ²	0,051	5,731	2,195	0,274	0,844	2,167	0,339	5,193	0,253
s	0,225	2,394	1,482	0,524	0,919	1,472	0,582	2,279	0,503
95% IS	0,197	2,098	1,299	0,459	0,805	1,290	0,511	1,997	0,441
v [%]	6,284	38,812	27,911	11,638	22,924	33,811	14,905	45,001	12,186
typy porušení	CSF	AF(20%)+CSF(80%)	CSF	CSF	AF(25%)+CSF(75%)	CSF	CSF	CSF	CSF

Fmax [N]	kevlar	bavlna	ba/VS	modakryl	nomex	ba tkanina	P-aramid 3D	P-aramid	ba/elastan
2+PU	12,71	17,73	12,71	15,37	16	11,92	13,65	14,9	15,06
	14,59	13,33	12,83	19,45	17,1	17,88	12,27	15,09	15,22
	13,65	18,26	9,73	16,38	14,9	13,4	12,71	17,1	14,53
	11,76	15,81	12,39	24,13	12,39	12,55	15,37	12,2	13,96
	12,61	14,59	10,04	22,59	11,76	14,09	11,92	8,94	18,54
x	13,064	15,944	11,540	19,584	14,430	13,968	13,184	13,646	15,462
s ²	0,941	3,448	1,856	11,549	4,221	4,369	1,531	7,965	2,564
s	0,970	1,857	1,362	3,398	2,055	2,090	1,237	2,822	1,601
95% IS	0,850	1,627	1,194	2,979	1,801	1,832	1,084	2,474	1,403
v [%]	7,425	11,646	11,806	17,353	14,238	14,965	9,384	20,682	10,356
typy porušení	SF	SF	SF	(P) SF	AF(5%)+SF(95%)P	SF	SF	(P) SF	(P) SF

Fmax [N]	kevlar	bavlina	ba/VS	modakryl	nomex	ba tkanina	P-aramid 3D	P-aramid	ba/elastan
2+PTFE- PU	18,63	36,49	22,59	24,31	12,74	7,72	21,65	27,01	16,6
	28,61	32,16	12,55	32,78	25,25	14,81	20,55	22,53	21,49
	25,57	26,32	19,29	32,94	15,84	24,31	19,76	27,14	24,16
	27,14	25,79	22,59	22,65	21,8	19,92	20,86	25,25	19,67
	28,74	21,27	27,83	20,23	21,96	23,15	19,14	20,33	17,76
x	25,738	28,406	20,970	26,582	19,518	17,982	20,392	24,452	19,936
s ²	13,956	28,312	25,205	27,962	20,699	37,176	0,759	7,018	7,238
s	3,736	5,321	5,021	5,288	4,550	6,097	0,871	2,649	2,690
95% IS	3,274	4,664	4,401	4,635	3,988	5,344	0,763	2,322	2,358
v [%]	14,514	18,732	23,941	19,893	23,310	33,907	4,271	10,834	13,495
typy porušení	AF(15%)+ SF(25%)+ CSF(60%)	AF(30%)+ SF(10%)+ CSF(60%)	AF(75%)+ SF(00%)+ CSF(25%)	AF(30%)+ SF(25%)+ CSF(65%)	AF(30%)+ CSF(70%)	AF(70%)+ CSF(30%)	AF(10%)+ CSF(90%)	AF(5%)+ SF(5%)+ CSF(90%)	AF(60%)+ CSF(40%)

[illegible]

Fmax [N]	kevlar	bavlna	ba/VS	modakryl	nomex	ba tkanina	P- aramid 3D	P- aramid	ba/elastan
2+PTFE- PTFE	8,31	14,37	9,57	10,04	17,94	13,65	18,67	15,69	11,89
bez úprav	15,87	7,65	11,14	21,96	19,45	12,39	18,04	11,92	13,33
	16,72	8,47	8	9,57	14,49	9,07	13,36	13,65	13,65
	16,16	6,59	8,31	17,57	10,04	7,94	13,8	15,87	11,23
	10,67	7,53	8,69	15,78	14,12	7,37	15,5	17,25	9,79
x	13,546	8,922	9,142	14,984	15,208	10,084	15,874	14,876	11,978
s ²	11,599	7,776	1,275	21,948	10,773	6,205	4,654	3,506	1,996
s	3,406	2,789	1,129	4,685	3,282	2,491	2,157	1,872	1,413
95% IS	2,985	2,444	0,990	4,106	2,877	2,183	1,891	1,641	1,238
v [%]	25,142	31,254	12,352	31,266	21,582	24,702	13,590	12,586	11,794
typy porušení	AF(5%)+ CSF(95%)	CSF	CSF	CSF	CSF	CSF	CSF	CSF	CSF

[illegible]

Fmax [N]	kevlar	bavlna	ba/VS	modakryl	nomex	ba tканina	P-aramid 3D	P- aramid	ba/elastan
3+PU	7,06	2,51	0,94	5,18	5,02	9,73	3,76	10,35	1,16
	9,73	1,41	2,2	4,55	4,74	13,65	2,82	12,71	1,29
	10,98	2,67	0,97	5,14	5,52	13,43	4,33	11,61	0,6
	7,81	2,42	2,67	5,65	6,37	10,04	3,11	11,45	1,25
	9,69	3,42	0,94	6,09	8,75	9,41	2,42	12,39	1,25
x	9,054	2,486	1,544	5,322	6,080	11,252	3,288	11,702	1,110
s ²	2,019	0,414	0,551	0,269	2,089	3,534	0,463	0,678	0,067
s	1,421	0,643	0,743	0,519	1,445	1,880	0,680	0,823	0,259
95% IS	1,245	0,564	0,651	0,455	1,267	1,648	0,596	0,722	0,227
v [%]	15,693	25,875	48,096	9,752	23,773	16,708	20,684	7,036	23,291
typy porušení	AF(20%)+ SF(80%)	AF	AF	AF(82%)+ SF(18%)	AF(60%)+ SF(15%)+ CSF(15%)	AF(35%)+ SF(65%)	AF(90%)+ SF(05%)+ CSF(5%)	SF	CF

Fmax [N]	kevlar	bavlna	ba/VS	modakryl	nomex	ba tканina	P- aramid 3D	P-aramid	ba/elastan
3+PTFE- PU	23,18	2,23	4,24	7,06	8,85	14,9	4,55	29,18	7,37
	14,27	6,59	2,73	9,51	10,04	13,33	2,04	32,19	5,8
	19,64	5,33	5,18	9,07	6,59	13,99	2,51	35,29	5,62
	17,35	4,08	3,55	5,77	9,22	19,01	2,04	33,1	2,82
	25,1	2,64	4,11	4,08	5,99	13,77	2,82	25,73	3,45
x	19,908	4,174	3,962	7,098	8,138	15,000	2,792	31,098	5,012
s ²	15,213	2,663	0,654	4,116	2,461	4,282	0,860	11,053	2,759
s	3,900	1,632	0,809	2,029	1,569	2,069	0,928	3,325	1,661
95% IS	3,419	1,430	0,709	1,778	1,375	1,814	0,813	2,914	1,456
v [%]	19,592	39,095	20,412	28,583	19,277	13,796	33,222	10,691	33,142
typy porušení	CF(20%)+ CSF(80%)	CF	CF	CF(90%)+ CSF(10%)	CF(80%)+ CSF(20%)	CF(40%)+ CSF(60%)	CF	SF(80%)+ CSF(20%)	CF(80%)+ CSF(20%)

Fmax [N]	kevlar	bavlna	ba/VS	modakryl	nomex	ba tkanina	P-aramid 3D	P-aramid	ba/elastan
3+PTFE-PTFE	12,05	0,94	1,57	6,43	3,33	9,41	1,57	10,2	2,51
aktivátor	7,84	1,25	1,1	3,14	8,63	6,84	2,51	9,29	5,58
	8,78	10,04	1,44	6,43	4,55	9,57	3,61	12,08	3,8
	10,2	6,71	1,1	11,14	6,74	8,94	4,3	10,82	2,32
	12,86	0,63	1,88	14,05	5,84	7,18	2,38	12,39	1,25
x	10,346	3,914	1,418	8,238	5,818	8,388	2,874	10,956	3,092
s ²	3,596	14,414	0,088	14,946	3,311	1,320	0,930	1,337	2,204
s	1,896	3,797	0,296	3,866	1,820	1,149	0,965	1,156	1,485
95% IS	1,662	3,328	0,260	3,389	1,595	1,007	0,845	1,014	1,301
v [%]	18,328	97,001	20,903	46,928	31,276	13,699	33,562	10,554	48,012
typy porušení	CF(50%)+CSF(50%)	CF(80%)+CSF(20%)	CF	CF(80%)+CSF(20%)	CF(95%)+CSF(5%)	CF(45%)+CSF(55%)	CF	CF(50%)+CSF(50%)	CF(95%)+CSF(5%)

Fmax [N]	kevlar	bavlna	ba/VS	modakryl	nomex	ba tkanina	P-aramid 3D	P-aramid	ba/elastan
4+PU	15,06	15,22	18,82	13,18	17,07	18,42	14,84	12,24	16,41
	12,74	12,39	15,18	15,84	18,04	15,69	16,78	13,49	15,5
	13,99	13,93	15,37	12,39	15,43	17,32	13,96	14,43	12,3
	13,33	14,74	14,59	13,62	13,49	14,9	15,84	13,02	16,31
	13,18	8,63	18,38	12,71	15,69	14,59	11,33	12,71	16,16
x	13,660	12,982	16,468	13,548	15,944	16,184	14,550	13,178	15,336
s ²	0,651	5,658	3,116	1,487	2,402	2,145	3,488	0,558	2,405
s	0,807	2,379	1,765	1,220	1,550	1,464	1,867	0,747	1,551
95% IS	0,707	2,085	1,547	1,069	1,359	1,284	1,637	0,655	1,359
v [%]	5,906	18,322	10,719	9,002	9,721	9,049	12,835	5,667	10,112
typy porušení	(P) AF	(P) SF	AF(05%)+SF(75%)	(P) SF	(P) SF	(P)	(P) SF	(P) SF	AF(5%)+SF(55%)(P)

Fmax [N]	kevlar	bavlna	ba/VS	modakryl	nomex	ba tканina	P-aramid 3D	P-aramid	ba/elastan
4+PTFE- PU	41,6	27,32	36,64	39,12	36,39	31,06	24,38	30,43	24,28
	40	25,76	37,18	33,6	33,72	24,66	19,26	31,72	22,9
	33,41	27,14	30,34	36,71	33	29,18	24,03	40,63	29,96
	29,33	24,94	39,78	43,11	33,1	25,57	20,55	28,05	27,61
	35,51	22,12	30,31	40,94	32	25,41	22,12	29,02	24,94
x	35,970	25,456	34,850	38,696	33,642	27,176	22,068	31,970	25,938
s ²	19,759	3,560	14,778	10,922	2,192	6,226	3,877	20,300	6,389
s	4,445	1,887	3,844	3,305	1,481	2,495	1,969	4,506	2,528
95% IS	3,896	1,654	3,370	2,897	1,298	2,187	1,726	3,949	2,216
v [%]	12,358	7,412	11,031	8,541	4,401	9,182	8,923	14,093	9,745
typy porušení	AF(20%)+ SF(40%)+ CSF(20%)	AF	AF(40%)+ SF(40%)(P)	AF(40%)+ SF(40%)+ CSF(5%)(P)	AF(50%)+ CSF(50%)	AF(50%)+ CSF(50%)	AF(15%)+ CSF(85%)	AF(50%)+ CSF(30%) (P)	AF(90%)+ CSF(10%)

Fmax [N]	kevlar	bavlna	ba/VS	modakryl	nomex	ba tканina	P-aramid 3D	P-aramid	ba/elastan
4+PTFE- PTFE	4,3	3,45	2,82	7,28	4,24	4,86	3,76	4,24	4,74
aktivátor	5,65	4,55	2,35	5,46	3,55	4,24	5,33	4,64	2,98
	3,76	3,29	3,45	4,58	4,11	3,92	3,11	3,51	2,67
	5,3	2,67	2,29	4,17	5,02	4,3	3,45	4,45	3,48
	4,71	3,45	2,6	6,15	6,12	3,76	3,76	7,22	3,61
x	4,744	3,482	2,702	5,528	4,608	4,216	3,882	4,812	3,496
s ²	0,459	0,368	0,175	1,241	0,792	0,144	0,582	1,596	0,502
s	0,678	0,606	0,419	1,114	0,890	0,379	0,763	1,263	0,708
95% IS	0,594	0,532	0,367	0,976	0,780	0,332	0,669	1,107	0,621
v [%]	14,286	17,417	15,504	20,150	19,310	8,988	19,649	26,256	20,264
typy porušení	AF(65%)+ CSF(35%)	CSF	AF	AF(85%)+ CSF(15%)	AF(70%)+ CSF(30%)	AF(35%)+ CSF(65%)	AF(85%)+ CSF(15%)	AF(70%)+ CSF(30%)	AF(70%)+ CSF(30%)

[illegible][illegible]

[illegible]

Příloha 3 Tabulky spotřeby polyuretanových lepidel

polyuretanové lepidlo (1)	A1) vzorek 5x5cm gramáž (g)	B1) vzorek 5x5cm gramáž (g)	A1) vzorek 5x5cm gramáž+lepidlo ihned po nanesení (g)	B1) vzorek 5x5cm gramáž+lepidlo ihned po nanesení (g)	A1) vzorek 5x5cm gramáž+lepidlo po 24 hod (g)	B1) vzorek 5x5cm gramáž+lepidlo po 24 hod (g)
A1/ Kevlar	0,47	0,47	0,59	0,6	0,52	0,53
B1/ bavlna	0,72	0,72	0,78	0,85	0,74	0,76
C1/ ba/vs	0,58	0,56	0,65	0,62	0,61	0,6
D1/ modakryl	0,95	0,95	1,05	1,04	0,98	0,97
E1/ Nomex	0,99	1,03	1,1	1,09	1,02	1,05
F1/ tkanina bavlna	0,57	0,58	0,6	0,63	0,59	0,61
G1/ P-aramid 3D	1,9	1,86	2,02	1,96	1,94	1,91
H1/ P-aramid	0,7	0,73	0,8	0,8	0,75	0,77
I1/ ba/elastan	0,75	0,77	0,81	0,85	0,78	0,8

polyuretanové lepidlo (1)	A1) nános lepidla ihned po nanesení (g)	B1) nános lepidla ihned po nanesení (g)	A1) nános lepidla po 24 hod (g)	B1) nános lepidla po 24 hod (g)		
A1/ Kevlar	0,12	0,13	0,05	0,06		
B1/ bavlna	0,06	0,13	0,02	0,04		
C1/ ba/vs	0,07	0,06	0,03	0,04		
D1/ modakryl	0,1	0,09	0,03	0,02		
E1/ Nomex	0,11	0,06	0,03	0,02		
F1/ tkanina bavlna	0,03	0,05	0,02	0,03		
G1/ P-aramid 3D	0,12	0,1	0,04	0,05		
H1/ P-aramid	0,1	0,07	0,05	0,04		
I1/ ba/elastan	0,06	0,08	0,03	0,03		
průměr nanesení lepidla	0,086	0,086	0,033	0,037	průměrný úbytek lepidla po 24 hod (g)	0,051

polyuretanové lepidlo (2) s butanonem	A2) vzorek 5x5cm gramáž (g)	B2) vzorek 5x5cm gramáž (g)	A2) vzorek 5x5cm gramáž+lepidlo ihned po nanesení (g)	B2) vzorek 5x5cm gramáž+lepidlo ihned po nanesení (g)	A2) vzorek 5x5cm gramáž+lepidlo po 24 hod (g)	B2) vzorek 5x5cm gramáž+lepidlo po 24 hod (g)
A2/ Kevlar	0,47	0,47	0,57	0,52	0,53	0,51
B2/ bavlna	0,72	0,73	0,79	0,77	0,77	0,76
C2/ ba/vs	0,57	0,57	0,62	0,62	0,61	0,61
D2/ modakryl	0,98	0,95	1,04	1,03	1,02	1,01
E2/ Nomex	0,99	1,04	1,08	1,12	1,03	1,06
F2/ tkanina bavlna	0,58	0,61	0,62	0,65	0,61	0,64
G2/ P-aramid 3D	1,79	1,82	1,89	1,89	1,85	1,88
H2/ P-aramid	0,73	0,74	0,83	0,8	0,8	0,77
I2/ ba/elastan	0,77	0,77	0,84	0,81	0,83	0,8

polyuretanové lepidlo (2) s butanonem	A2) nános lepidla ihned po nanesení (g)	B2) nános lepidla ihned po nanesení (g)	A2) nános lepidla po 24 hod (g)	B2) nános lepidla po 24 hod (g)		
A2/ Kevlar	0,1	0,05	0,06	0,04		
B2/ bavlna	0,07	0,04	0,05	0,03		
C2/ ba/vs	0,05	0,05	0,04	0,04		
D2/ modakryl	0,06	0,08	0,04	0,06		
E2/ Nomex	0,09	0,08	0,04	0,02		
F2/ tkanina bavlna	0,04	0,04	0,03	0,03		
G2/ P-aramid 3D	0,1	0,07	0,06	0,06		
H2/ P-aramid	0,1	0,06	0,07	0,03		
I2/ ba/elastan	0,07	0,04	0,06	0,03		
průměr nanesení lepidla	0,076	0,057	0,050	0,038	průměrný úbytek lepidla po 24 hod (g)	0,022